

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ІНЖЕНЕРНО – ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ О.В. Гондлях
(підпис) (ініціали, пр)
“ ____ ” _____ 2019 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 133 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

на тему: «Піч обертова для виготовлення цементу з удосконаленням опори»
Виконав: студент 2 курсу, групи ЛПз-81мп

Рагімов Микола Васильович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник ст. вик. Борщик Сергій Олександрович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант:
з розділу модернізація д.т.н., доц. Щербина В.Ю. _____

з розділу ТМ та Е ст.вик. Борщик С.О. _____

Рецензент (*рукопис*) _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ І. СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ

КАФЕДРА ХІМІЧНОГО, ПОЛІМЕРНОГО ТА СИЛІКАТНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.В.Гондлях

«__» _____ 2019 р

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Рагімову Миколі Васильовичу

1. Тема дисертації «Піч обертова для виготовлення цементу з удосконаленням опори»,
науковий керівник дисертації Борщик Сергій Олександрович, ст. вик.,

затверджені наказом по університету від «__» _____ 201__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження _____

4. Предмет дослідження _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити _____

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу _____

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Наукові розробки, плагіат	Щербина В.Ю., доцент каф. ХПСМ		
Технологія монтажу та експлуатації	Борщик С.О., ст. викл. каф. ХПСМ		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської дисертації на тему „Піч обертова для виготовлення цементу з удосконаленням опори”.

Об’єкт дослідження: опора обертової печі.

Мета дослідження: удосконалення опірної частини обертової печі.

Обертові печі цементної промисловості – конструкційно важкий тепловий і в той самий час механічний агрегат, який оснащено сучасними методами автоматизації.

Зараз найбільше уваги при проектуванні ліній заводів та виготовлення цементу приділяється вдосконаленню, вивченню та модернізації обертових печей, тому що саме в них відбуваються найважливіші фізико-хімічні перетворення, які впливають насамперед на якість отриманого готового продукту (цементу).

Магістерською дисертацією наведено вибір та обґрунтування модернізації опори печі, та запропоновано ідею з патенту, що зменшує витрати на ремонт машини та всі супроводжуючі процеси, термін служби бандажів та роликів за рахунок зменшення контактних напружень, що виникають в них. Ідеї модернізації підтверджено результатами розрахунків, які виконані за допомогою сучасного програмного комплексу «ANSYS». Аналіз розрахунків довів можливість та доцільність впровадження модернізованої конструкції у виробництво. Конкурентоспроможність та можливість впровадження модернізації проаналізовано в розділі стартап-проект.

Пояснювальна записка містить 102 с. в склад яких входить 16 ілюстрацій, 30 таблиць, 16 джерел інформації.

Ключові слова: ОБЕРТОВА ПІЧ, ЦЕМЕНТ, СУХИЙ СПОСІБ, МОКРИЙ СПОСІБ, КЛІНКЕР, МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, РОЛИКООПОРА, БАНДАЖ.

ABSTRACT

Explanatory note for Master's Thesis "Rotary kiln for cement production with improvement of the support".

Research object: support of rotary kiln.

Research purpose: rotary kiln supporting part improvement.

Rotary kiln for cement production – constructively heavy thermal and at the same time mechanical unit equipped with modern methods of automation.

At present, most attention paid to the improvement, study and modernization of rotary kilns in the design of plant lines and the production of cement, because these are the most important physical and chemical transformations that affect primarily the quality of the finished product (cement).

The master's thesis presents the choice and reasoning of the modernization of the furnace support. It proposed the idea of a patent that reduces the machine repairing cost and all the accompanying processes, the life of the braces and rollers by reducing the contact stresses that appears inside them. The ideas of modernization confirmed by the results of calculations made with the help of the modern ANSYS software complex. The analysis of the calculations proved the possibility and advisability of introducing the modernized structure into production. Competitiveness and possibility of modernization implementation analyzed in the startup section.

Explanatory note consists of 102 p. with 16 pics., 30 tabs., 16 sources of information.

Keywords: ROTARY KILN, CEMENT, DRY METHOD, WET METHOD, CLINKER, MECHANICAL EQUIPMENT, ROLLER, BANDAGE.

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ

N – потужність, Вт;

Π – продуктивність, т/год;

n – частота обертання, об/хв;

ρ – щільність, кг/м³;

T – температура, °С;

p – тиск, Па;

E – модуль пружності, Па;

σ – напруження, Па;

f – площа поперечного перерізу, м²;

δ – товщина футеровки, мм;

L – довжина, м;

D – діаметр, м;

P – навантаження, Н;

η – коефіцієнт корисної дії;

μ – коефіцієнт Пуассона;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м °С;

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м² °С;

U – прогин, мм;

V – швидкість, м/с;

Q – теплота, Дж/м³.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	3
1	ОПИС ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ ТА ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ	5
2	ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ 5x185.....	10
3	ПАТЕНТНО-ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОПОРИ ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ.....	11
	3.1. Результати патентного пошуку з модернізації опори обертової печі.....	11
4	ВИБІР МОДЕРНІЗАЦІЇ.....	14
	4.1. Висновки.....	15
5	РОЗРАХУНКИ.....	16
	5.1. Параметричний розрахунок.....	16
	5.1.1. Діаметр печі.....	16
	5.1.2. Довжина обертової печі.....	16
	5.1.3. Коефіцієнт заповнення печі.....	17
	5.1.4. Продуктивність печі.....	17
	5.2. Кінематичний розрахунок.....	18
	5.2.1. Потужність привода.....	18
	5.2.2. Потужність допоміжного приводу.....	19
	5.3. Тепловий розрахунок.....	20
	5.3.1. Вихідні дані.....	20
	5.3.2. Розбивка печі на зони.....	20
	5.3.3. Теоретична температура горіння.....	21
	5.3.4. Ступінь тепловикористання.....	22
	5.3.5. Тепловий баланс печі.....	22
	5.4. Розрахунок на міцність.....	26
	5.4.1. Розрахунок опорно-ходової частини.....	26
	5.4.2. Розрахунок осі опорного ролика.....	26
	5.4.3. Розрахунок підшипників кочення на довговічність.....	27
	5.4.4. Розрахунок бандажів.....	28
	5.4.5. Розрахунок гідроупорів.....	30
	5.4.6. Розрахунок відкритої зубчастої передачі.....	37
	5.4.7. Розрахунок корпусу печі.....	39
6	МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ.....	50
7	СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	66
	7.1. Опис ідеї проекту.....	66
	7.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	68
	7.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	69
	7.4. Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту.....	77
	7.5. Розроблення маркетингової програми проекту.....	79
	Висновки.....	82
8	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	83
	8.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів обертової печі.....	83

	8.1.1. Повітря робочої зони.....	83
	8.1.2. Виробничий шум.....	84
	8.1.3. Вібрація.....	84
	8.1.4. Небезпека впливу частин печі що рухаються та обертаються...	85
	8.2. Електробезпека.....	86
	8.3. Пожежна безпека.....	88
	8.4. Розрахунок штучного освітлення.....	89
	8.5. Охорона навколишнього середовища.....	90
9	МОДЕРНІЗАЦІЯ ВУЗЛА ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ.....	91
	9.1. Розробка 3D моделі базової та модернізованої частини установки	91
	9.1.1. Базова частина установки.....	91
	9.1.2. Модернізована частина установки.....	92
	9.2. Розрахунки базової моделі модернізованого вузла.....	92
	9.3. Розрахунки для модернізованого вузла моделі.....	94
	9.4. Підтвердження працездатності модернізованої установки.....	96
	9.5. Аналіз достовірності отриманих результатів.....	97
	ВИСНОВКИ.....	100
	ЛІТЕРАТУРА.....	101
	ДОДАТОК А. КРЕСЛЕННЯ І ПЛАКАТИ.....	103
	ДОДАТОК Б. СПЕЦИФІКАЦІЇ.....	112
	ДОДАТОК В. Програма розрахунку продуктивності обертової печі 5х185 м за допомогою мови С++.....	120
	ДОДАТОК Г. КОПІЇ ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ.....	123

ВСТУП

Будівництво - одна з найосновніших галузей господарства, від неї залежить ефективність роботи та функціонування системи господарювання в країні загалом. Важливість будівельного виробництва для економіки всіх країн є достатньо високою, наприклад: капітальне будівництво, напевно, як ніщо інше в галузі економіки, створює досить велику кількість робочих місць і споживає продукцію величезної кількості галузей народного господарства, від сталі та бетону до пластику та паперу. Економічне зростання від розвитку будівництва полягає у тому, що з кожним роком в нього вкладає кошти все більше інвесторів. З розвитком будівельної галузі розвиватимуться та вдосконалюватимуться такі галузі виробництва як: машинобудівна галузь, виробництво будівельних матеріалів, металургія і металообробка, будівельне обладнання, машинобудівництво, виробництво скла, нафтохімія, фарфоро-фаянсова промисловість, деревообробна промисловість, транспорт, енергетика та багато інших. І, зокрема, як ніщо більше в галузі економіки, будівництво спричиняє розвиток підприємств малого та середнього бізнесу, особливо тих, які спеціалізуються на оздоблюванні, ремонті, на виробництві та монтажі типових та вбудованих меблів і тому подібне.

Таким чином, приріст розвитку будівельної галузі викликає економічне зростання у країні і виникнення всіх необхідних для розв'язання багатьох соціальних та екологічних проблем умов. В супереч цьому, наразі, на сучасному етапі розвитку будівництва, розмови та оцінки будь-яких можливих варіантів конкурентоспроможності цієї галузі не мають ніякого сенсу, як і у випадку з іншими малопопулярними в нашій країні виробництвами. Якщо на рівні регіону чітко можна прослідкувати тенденцію верховенства будівельних організацій районів, що розвиваються та великих міст-мільйонників через їх значні потужності, високі перспективи та інвестиційну привабливість, то глобально, будівельна галузь України терпить поразку через відсутність фінансових інвестицій, організаційних перетворень та наявність високого рівня урбанізації населення.

Цементна промисловість наразі знаходиться на тій стадії розвитку, коли технічне вдосконалення, зростання продукції цементу, стабілізація економіко-технічних показників галузі мають відбуватися шляхом реконструкції та технічного

оновлення існуючих заводів з виробництва цементу так як повне переоснащення виробництва відповідно до реконструкції є економічно недоцільним та може привести до падіння будівельної промисловості, тому існує велика потреба в модернізації діючих виробництв. Ведуться тривалі та складні роботи зі збільшення асортименту, підвищення якості, пошуку додаткових складових цементу, а також дослідження, щодо застосування відходів інших галузей промисловості та природних матеріалів які можна біло б залучати при виробництві компонентних і спеціальних цементів для підвищення їх характеристик.

Успішне вирішення всіх вищевказаних завдань в основному залежить від кваліфікації та підготовки спеціалістів, яким в Україні приділяють виняткову увагу, тому що від їх умінь та високого технічного рівня залежить підвищення продуктивності всієї сфери виробництва.

Так, до основних моделей соціального й економічного розвитку у виробництві будівельних матеріалів підвищити обсяги виробництва цементу та стабілізувати його якість, через те, що конкуренція на сучасному ринку матеріалів росте з кожним днем. Крім того, потрібно розвивати більш інтенсивну реалізацію матеріалів попутного видобування, шлаків, вторинної сировини та інших відходів для виробництва будівельних матеріалів для збереження екології та людства в цілому.

1. ОПИС ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ ТА ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ

Одним із основних видів будівельних матеріалів є бетон, до складу якого входить цемент. Сировиною для виробництва цементного клінкеру є два основних компоненти: глина і вапняк (чи крейда).

Залежно від мінералогічного та хімічного складу цих компонентів до них є можливість додавати інші матеріали: відходи чи природні мінерали — шлаки хімічних і металургійних виробництв.

Виробництво цементу відбувається за сухим, мокрим чи комбінованим способами.

Характерною рисою мокрого способу є введення в технологічний процес великої кількості води, в основному при помелі й подрібнюванні вихідної сировини (глини, вапняку, крейди). При подальшій тепловій обробці в обертових печах велика кількість теплоти витрачається на випаровування води. Тому конструкції обертових печей виходять досить довгими. Мокрий спосіб є найпоширенішим у країнах, що мають значні джерела палива.

Вихідні сировинні матеріали за сухого способу виробництва надходять у технологічний процес із природною вологістю, завдяки цьому використовують короткі обертові печі.

Прагнення зменшити витрату палива при обробці теплом сировини в обертових печах і в той самий час більш повно використовувати існуюче устаткування діючих технологічних ліній з мокрого способу сприяло розробленню комбінованого способу виробництва. За цього способу всі вихідні сировинні матеріали мають подрібнюватися і розмелюватися на устаткуванні мокрого способу. Після цього потрібно здійснити глибоке зневоднювання всього отриманого сировинного шламу на фільтр-пресах. Випалювання виконують у коротких обертових печах. За мокрого способу виробництва (рис. 2.1) вихідні сировинні матеріали, які добуваються в кар'єрах, мають проходити першу стадію обробки — подрібнення у молоткових, щоккових, конусних чи роторних, гідрофолах, валкових дробарках. М'які сировинні матеріали, такі як глина чи крейда, попередньо подрібнюються в глинобовтанках чи

млинах типу «Гідрофол» з додаванням води. Вибір устаткування для подрібнення в основному залежить від фізико-механічних властивостей вихідної сировини для виробництва цементу.

Великі куски вапняку, після того як пройдуть першу стадію подрібнення в щоківій дробарці, спрямовуються на другу стадію в дробарку молоткову, перед тим відсортувавшись на грохоті, і далі йдуть на склад сировини. Схема дроблення після щоківій дробарки дає змогу направити матеріал на молоткову дробарку, а потім і на грохот.

Підготовлені й після дозування матеріали надходять у трубні кульові млини які працюють для розмелювання в шлам з вологістю 35...45% і в крайніх випадках 30...50%. Для отримання консистенції з такою вологістю в млини додають велику кількість води, щоб мати добру рухливість шламу для його транспортування за допомогою шламових насосів по спеціально облаштованих для цього трубопроводах. Підвищення вологості шламу небажане, через те, що призводить до зайвої витрати тепла на те, щоб випаровувалась вода.

З млина шлам перекачують в проміжні вмістилища, звідки надходить у горизонтальні шламові басейни, де він доводиться до потрібного хімічного складу і безперервно переміщується крановими мішалками. З басейнів шлам подається по трубопроводу до дозувальних пристроїв, а потім — в обертову піч, де під дією тепла від спалювання палива відбувається термохімічна обробка шламу і утворюється цементний клінкер. Температура газів всередині печі становить 2000...2050 К. Спалюване в печі паливо у вигляді вугільного порошку (тверде), або мазуту (рідке) чи газу, подається в обертову піч за допомогою пальників відповідних до агрегатного стану палива конструкцій. Відпрацьовані гази з печі по трубопроводу спрямовуються насамперед на очищення в електрофільтр, а потім в трубу.

У колосниковий охолодник цементний клінкер подається за допомогою конвеєру, далі охолоджується до 380 К і транспортується на склад. Після цього клінкер після дозування передається разом із добавками в кульовий цементний млин агрегату для помелу. Готовий цемент пневмотранспортом спрямовується до силосних складів, а звідти — до пакувального відділення, потім на транспортні

засоби — в автомобільний транспорт, морські судна, спеціалізовані залізничні вагони і так далі.

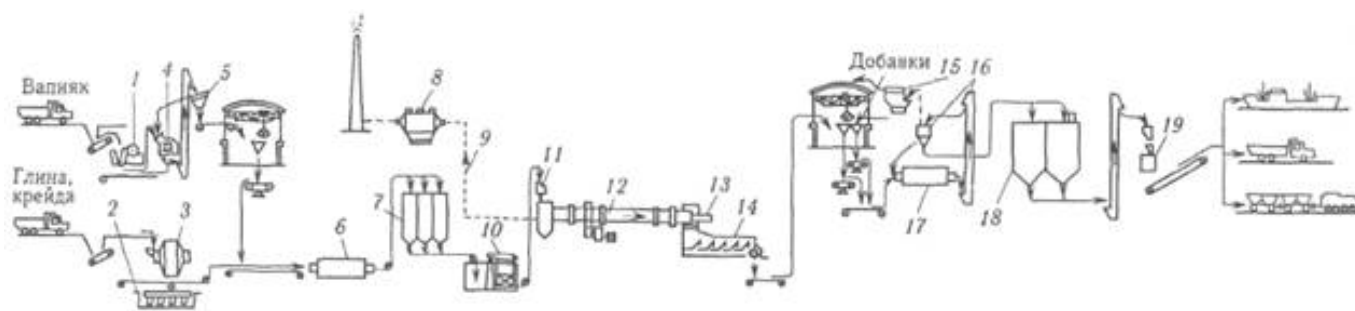


Рис. 1.1. Технологічна схема виготовлення цементного клінкеру: 1 – роторна дробарка, 2 – щокоча дробарка, 3 – роторна дробарка, 4 – грохот, 5 – елеватор, 6 – млин, 7 – кульовий млин, 8 – електрофільтр, 9 – трубопровід, 10 – горизонтальні шламові басейни, 11 – дозувальні пристрої, 12 – обертова піч, 13 – конвеєр, 14 – колосниковий охолоджувач, 15 – добавки, 16 – помольний агрегат, 17 – цементний млин, 18 – силосні склади, 19 – пакувальне відділення

До найголовніших елементів і вузлів печі відносяться: бандажі, корпус, відкрита зубчаста передача, роlikоопори, пристрої для утримання від сповзання корпусу печі, головний і допоміжний приводи, теплообмінні пристрої всередині труби, ущільнення гарячого і холодного кінців.

Корпус обертової печі 5х185 м (рис. 4.1.), яку застосовують при мокрому способі виробництва цементного клінкеру, представляє собою барабан, що зварений з листової сталі товщиною 30...110 мм, футерований всередині цеглою (цегла має бути вогнетривкою) та бандажими, що спираються на сім роlikоопор. Роlikоопори у вигляді двох роликів, що рознесені по ширині, змонтовані на рамах та встановлені на фундаментних опорах зі стійкого до ерозій та вібрацій залізобетону щонайменше марки В30.

Піч має ухил, що складає 35‰ (орієнтовно 2°). У даній конструкції вона утримується від сповзання за допомогою гідроупорів.

В такій системі обертові печі забезпечуються опорними роliками і гідроциліндрами. Печі приводяться в обертання за допомогою головного приводу, що розташований на опорі, напряду через зубчасту передачу, що повністю відкрита.

Привід печі знаходиться з двох сторін. Обертові забезпечуються також допоміжним приводом, що використовується для того, щоб повертати корпус з малою частотою обертання при виконанні футеровочних і ремонтних робіт, також в аварійних ситуаціях.

Всередині печі навішується завіса з цепу у вигляді вільно висячих кінців ланцюга. Гарячий і холодний кінці печі мають ущільнення. Ущільнення гарячого кінця печі – аеродинамічне.

Обертова піч має пристрій для того, щоб відводити пил, який уловлюється в пиловловлювачах, за цементну зону. Станції рідкого циркуляційного масла призначені для подачі в редуктор і підшипники привода масла, в зачеплення вінцевих й підвінцевих шестерень та в підшипники роликоопор. Гарячий кінець печі проохолоджується вентиляційною установкою.

Піч обертається завдяки приводу. Через обертання і нахил в 35‰ гартований матеріал проходить від холодного до гарячого кінця обертової печі і піддається тепловому впливу газів, які рухаються назустріч матеріалу (знизу вгору).

У пилоосадній камері великі частки пилу з димових газів, що виходять з печі, осідають внаслідок різкого збільшення діаметру поперечного перерізу і, тим самим, зменшення швидкості газів. Гази з димом викидаються в атмосферу після кінцевого очищення в електрофільтрах. Вловлений пил з бункерів пиловловлюючих пристроїв за допомогою гвинтових конвеєрів подається в пневмонасоси, які повертають його в піч. Ущільнення, яке знаходиться на кінцях обертової печі, що входять в пилоосадну камеру та розвантажувальну голівку, перешкоджають підсмоктуванню в піч повітря ззовні.

Пристрій, призначений для спалювання палива має вводиться в піч через камеру для завантажування, до нижньої частини якої примикає шахта охолодження клінкеру.

Такі агрегати також комплектуються охолоджувачами колосниковими типу "Волга".

При виробництві мокрим способом матеріал подається в піч у вигляді шламу з вологістю 35...45%. В печі розрізняють різні технологічні зони, такі як: сушіння,

декарбонізації, підігріву, спікання, екзотермічних реакцій та попереднього охолодження.

Всередині зони сушіння для збільшення поверхні для теплообміну між матеріалом та газами, що відходять, встановлено ланцюгову завісу, довжину якої приймають від 30 до 50 м. Вона служить для нагромадження шламу і є непоганим пиловловлювачем.

Всередині зони підігріву також можуть встановлюватися внутрішні теплообмінники. Зони сушіння та підігріву складають десь близько 60% довжини обертової печі.

Температура матеріалу всередині зони спікання до 1500°C , а температура газів становить до 1750°C .

В результаті тих фізико-хімічних процесів, які відбуваються з матеріалом всередині корпусу печі, утворюється клінкер, котрий розвантажують в охолоджувач, при розвантаженні температура становить до 1300°C . В охолоджувачі температура клінкеру зменшується до температури $70 - 90^{\circ}\text{C}$.

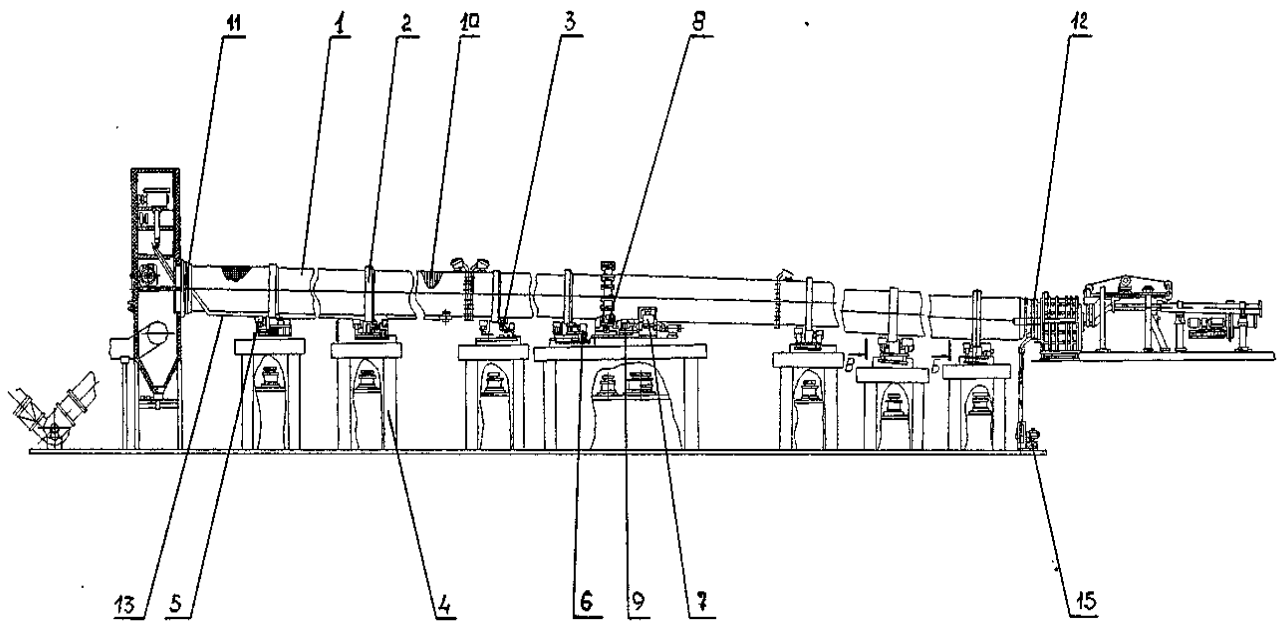


Рис. 1.2. Обертова піч 5x185 м: 1- корпус, 2- бандаж, 3 – роlikоопора, 4 – фундамент, 5 – ролик, 6 – упорний ролик, 7 – редуктор, 8 – вінцева шестерня, 9 – привід, 10 – ланцюгова завіса, 11 – холодний кінець, 12 – гарячий кінець, 13 – сушарка, 15 – газова горілка

2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ 5х185

Таблиця 2.1.

Найменування	Значення
Довжина корпусу	185 м
Внутрішній діаметр корпусу	5 м
Продуктивність оберткової печі при вологості шламу не більше 38%	1 700 т/добу, 75 т/год
Покил печі	3,5%
Кількість роlikоопор	7 шт.
Тип підшипників опор	Кочення
Потужність електродвигуна - головного приводу - допоміжного приводу	2х250 кВт 2х30 кВт
Вид палива	Газ
Частота обертання корпусу - від головного приводу - від допоміжного приводу	1,25 об/хв 3,52 об/год
Діапазон частоти обертання головного електроприводу	0,6-1,25 об/хв

3. ПАТЕНТНО-ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОПОРИ ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ

Мета: провести патентно-літературний огляд обертової печі для модернізації та вдосконалення конструкції опори.

3.1. Результати патентного пошуку з модернізації опори обертової печі

№ з/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид та номер документу	Сутність технологічного рішення та ціль його створення
1	Вращающаяся печь	Росія, Патент, RU 2 102 667 C1	Кільцевий кожух з завантажувальним пристроєм у вигляді патрубків з ковшами, що заходять всередину, закріплений на печі та має направляючий елемент, перед яким встановлено герметизуючий нерухомий щит з завантажувальною тічкою, а ковши завантажувального пристрою виконані у вигляді дугоподібних пластин, які є продовженням стінок патрубків, з'єднаних з обичайкою та обмеженими з однієї сторони диском, а з іншої сегментом.
2	Вращающаяся печь	Росія, Патент, RU 2 162 582 C2	Для забезпечення фіксації корпусу печі в процесі обертання опорні ролики одного з опорних пристроїв виконані або конічними зі спільною їх з бандажем вершиною на осі печі зі сторони похилу, при цьому кут при вершині конуса бандажу обрано таким, що лінія контакту між конічним бандажем і

			<p>опорними роликами має похил в проекції на вертикальну площину, що проходить через вісь обертання печі в сторону, протилежну нахилу печі, або опорні ролики виконані циліндричними, при цьому осі обертання цих роликів паралельні лініям контакту, а інший опорний пристрій печі виконано у вигляді циліндричних бандажу та опорних роликів</p>
3	Опора вращающейся печи	СРСР, Патент, SU 1013718_А	<p>Бандаж спирається на два опорних ролики, кожен з яких змонтовано в проміжній рамі, відлитій як одне ціле з корпусом підшипника та нахилений перпендикулярно до напрямлення дії сили навантаження.</p> <p>Один кінець рами спирається на шарову опору, яка жорстко закріплена на фундаментній плиті, Шар заходить з невеликим зазором в підп'ятник литої рами.</p> <p>Інший кінець рами опирається на еластичну опору, наприклад на шість пакетів тарільчатих пружин.</p> <p>Завдяки наявності тарільчатих пружин та шарової опори, вісь ролика самовстановлюється паралельно твірній бандажу оберткової печі, забезпечуючи рівномірність контакту по довжині ролика.</p>

4	Роликоопора вращающейся печи	СРСР, Патент, SU 1488700_ A2	<p>1. З ціллю спрощення конструкції та підвищення надійності роликоопори, пружний елемент виконано у вигляді защемленого у циліндрах пакету плоских кілець зпружинної сталі, а упорні підшипники з'єднані між собою дисками, що охоплюють в нижній частині пакет плоских кілець.</p> <p>2. Між плоскими кільцями в пакеті встановлено прокладки з антифрикційного матеріалу з радіальними пазами для консистентної змазки.</p> <p>3. Упор виконано у вигляді втулки, всередині якої розташовано підпружинену кулю.</p>
5	Роликоопора вращающейся печи	СРСР, Патент, SU 949308_ A1	<p>З метою підвищення надійності роботи, роликоопору оснащено встановленою на фундаменті нерухомою рамою з бортами, по внутрішньому периметру якої вкладені пружні елементи, виконані з еластичного перфорованого матеріалу Г-подібної форми.</p>

4. ВИБІР МОДЕРНІЗАЦІЇ

Під час патентно-літературного огляду було обрано як основу для модернізації патент № RU 2 162 582 C2 «Вращающаяся печь».

Для забезпечення фіксації корпусу печі в процесі обертання опорні ролики одного з опорних пристроїв виконані або конічними зі спільною їх з бандажем вершиною на осі печі зі сторони похилу, при цьому кут при вершині конуса бандажу обрано таким, що лінія контакту між конічним бандажем і опорними роликами має похил в проекції на вертикальну площину, що проходить через вісь обертання печі в сторону, протилежну нахилу печі, або опорні ролики виконані циліндричними, при цьому осі обертання цих роликів паралельні лініям контакту, а інший опорний пристрій печі виконано у вигляді циліндричних бандажу та опорних роликів.

Застосування цієї модернізації насамперед збільшить термін експлуатації опорних вузлів печі, що забезпечить більш тривале та безперервне виробництво, так як для ремонту цих вузлів необхідне обов'язкове припинення роботи машини.

Також в результаті патентного огляду було обрано другу модернізацію, що може застосовуватись разом з основною, а саме патент № SU 1013718_ А «Опора вращающейся печи».

Бандаж спирається на два опорних ролики, кожен з яких змонтовано в проміжній рамі, відлитій як одне ціле з корпусом підшипника та нахилений перпендикулярно до направлення дії сили навантаження.

Один кінець рами спирається на шарову опору, яка жорстко закріплена на фундаментній плиті, Шар заходить з невеликим зазором в підп'ятник литої рами.

Інший кінець рами опирається на еластичну опору, наприклад на шість пакетів тарільчатих пружин.

Завдяки наявності тарільчатих пружин та шарової опори, вісь ролика самовстановлюється паралельно твірній бандажу обертової печі, забезпечуючи рівномірність контакту по довжині ролика.

Застосування цих двох модернізацій в тандемі дозволить значно збільшити термін експлуатації окремих вузлів обертової печі, а саме:

- опорний вузол;

- корпус;
- бандаж;
- привід.

Також завдяки модернізації зменшується вібраційне навантаження та спрощується ремонт деяких елементів опорного вузла.

4.1. Висновки

В результаті літературно-патентного пошуку обрано дві модернізації опори, що можна застосовувати як окремо, так і в тандемі. Модернізації обґрунтовано та обрано відповідно до теми.

5. РОЗРАХУНКИ

5.1. Параметричний розрахунок

5.1.1. Діаметр печі

$$D = 1,4 \cdot P^{0,28} = 1,4 \cdot 75^{0,28} = 4,6 \text{ м}$$

де P – продуктивність печі, $P = 75 \text{ т/год} = 21 \text{ кг/сек.}$

Внутрішній діаметр печі:

$$D_c = 0,396 \cdot (24 \cdot P)^{0,34} = 0,396 \cdot (24 \cdot 75)^{0,34} = 5,06 \text{ м}$$

Теплова потужність печі:

$$Q = P \cdot q = 75000 \cdot 1600 = 502 \cdot 10^6 \text{ кдж/год},$$

де $q = 1600 \text{ ккал/рік} = 6720 \text{ кдж/рік}$ – питома витрата тепла

Внутрішній діаметр печі:

$$D_c = \sqrt[3]{\frac{Q}{1,1 \cdot 4,2}} = \sqrt[3]{\frac{502}{4,62}} = 4,8 \text{ м}$$

Діаметр печі по кожуху: $D = D_c + 2 \cdot 0,2 = 4,8 + 0,4 = 5,2 \text{ м.}$

5.1.2. Довжина обертової печі

Довжину обертової печі знаходимо по формулі:

$$L = 7,63 \cdot (24 \cdot P)^{0,45} = 7,63 \cdot (24 \cdot 75)^{0,45} = 222 \text{ м}$$

Довжина зони спікання $\tau_3 = 0,4 \text{ ч.}$ для зони охолодження $\tau_3 = 0,25 \text{ ч.}$ Значить $\tau_3 = 0,65 \text{ ч.}$

Швидкість руху матеріалу в печі:

$$v = \frac{L}{\tau} = \frac{21,6}{0,65} = 33,2 \text{ м/ч}$$

Тоді довжина зони спікання:

$$L_c = v \cdot \tau_c = 33,2 \cdot 0,4 = 13,28 \text{ м}$$

Довжина зони охолодження:

$$a_{охл} = v \cdot \tau_c = 33,2 \cdot 0,25 = 8,3 \text{ м}$$

Швидкість обертання печі при ухилі $i = 3,5\%$:

$$in = \frac{33,2}{11,7} = 2,84;$$

$$n = \frac{2,84}{3,5} = 0,81 \text{ об/мин} = 0,04 \text{ рад/сек.}$$

5.1.3. Коефіцієнт заповнення печі

Коефіцієнт заповнення печі при швидкості:

$$v = \frac{v}{60} = \frac{33,2}{60} = 0,55 \text{ м/мин},$$

$$\varphi = \frac{P}{15 \cdot \pi \cdot D_c^2 \cdot v \cdot \gamma_m},$$

де P – продуктивність печі, $P = 75 \text{ т/год} = 21 \text{ кг/сек.}$

D_c – внутрішній діаметр печі, $D_c = 4,8 \text{ м.}$

v – швидкість печі, $v = 0,55 \text{ м/хв.}$

γ_m – насипна вага матеріалу, $\gamma_m = 1,5$

$$\varphi = \frac{75}{15 \cdot 3,14 \cdot 4,8^2 \cdot 0,55 \cdot 1,5} = 0,084.$$

5.1.4. Продуктивність печі

Знайдемо питому продуктивність печі:

$$P_F = \frac{P}{\pi \cdot D_c \cdot a} = \frac{75000}{3,14 \cdot 4,8 \cdot 222} = 22,4 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{ч.}$$

Продуктивність печі розраховуємо по формулі:

$$\Pi = \frac{\pi \cdot D_c^2}{4} \cdot \varphi \cdot \gamma_m \cdot v = \frac{3,14 \cdot 4,8^2 \cdot 0,084}{4} \cdot 1,5 \cdot 33,2 = 75,6 \text{ т/ч} = 21,1 \text{ кг/сек.}$$

5.2. Кінематичний розрахунок

5.2.1. Потужність привода

Для визначення потужності приводу розраховуємо моменти сил опору обертання печі:

Момент, викликаний позацентровим розташуванням у печі матеріалом:

$$M_1 = G_m \cdot a = 3,95 \cdot 0,92 = 3,63 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}, \text{ де}$$

G_m – вага матеріалу в печі,

$$G_m = F_m \cdot \gamma \cdot g \cdot L = 1,45 \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 185 = 3,95 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Площа матеріалу в печі:

$$F_m = \frac{\pi \cdot D_{cp}^2}{4} \cdot \varphi = \frac{3,14 \cdot 4,8^2}{4} \cdot 0,08 = 1,45 \text{ м}^2$$

де a – відстань від вертикальної осі перетину печі до центра ваги перетину матеріалу, $a = R_0 \sin \varphi = 2,02 \sin 27^\circ = 0,92$; $\varphi = 27^\circ$ – кут укосу матеріалу в печі.

Відстань від центру ваги перетину матеріалу до осі обертання

$$R_0 = R_{ce} \Delta = 2,4 \cdot 0,84 = 2,02 \text{ м}, \text{ де}$$

$$R_{ce} = \frac{D_{ce}}{2} = \frac{4,8}{2} = 2,4 \text{ м}$$

Відповідно до графіка 2.23 [3] при $\varphi = 0,08$, $\Delta = 0,84$.

Момент сил тертя бандажу по роликах:

$$M_2 = \frac{G_{ob} \cdot \mu}{\cos \beta \cdot R_p} \cdot (R_p + R_\delta) = \frac{34,25 \cdot 10^6 \cdot 0,0005}{\cos 30,3^\circ \cdot 0,85} \cdot (0,85 + 2,98) = 10,24 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де G_{ob} – загальна вага печі,

$$G_{ob} = G_n + G_m = 30,3 \cdot 10^6 + 3,95 \cdot 10^6 = 34,25 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

β – кут установки роликів щодо вертикальної осі $\beta = 30,3^\circ$;

μ – коефіцієнт тертя кочення бандажів по роликах, $\mu = 0,0005$;

R_δ , R_p – радіуси ролика і бандажів по таблиці 2.1 [3], $R_\delta = 0,85 \text{ м}$; $R_p = 2,98 \text{ м}$;

Момент сил тертя в підшипниках роликоопор, приведеної до осі обертання печі:

$$M_3 = \frac{G_{ob} + Z_p \cdot G_p}{\cos \beta} \cdot f \cdot \frac{R_{ch}}{R_p} \cdot R_\delta = \frac{34,25 \cdot 10^6 + 14 \cdot 2,4 \cdot 10^5}{\cos 30,3^\circ} \cdot 0,008 \cdot \frac{0,35}{0,85} \cdot 2,98 = 4,8 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де Z_p – число опорних валиків 14;

G_p – вага одного ролика разом з віссю, $G_p = 2,4 \cdot 10^5 \text{ Н}$;

f – коефіцієнт тертя в конічних роликотішипниках опор, $f = 0,008$

Необхідну потужність електродвигуна знаходимо по формулі:

$$N = \frac{(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3) \cdot \omega}{1000 \cdot \eta_{\text{зл}}} = \frac{(3,63 \cdot 10^6 + 10,24 \cdot 10^4 + 4,8 \cdot 10^5) \cdot 0,13}{1000 \cdot 0,9} = 488 \text{ кВт},$$

де $\eta_{\text{зл}}$ – КПД привода, $\eta_{\text{зл}} = 0,9$;

ω – кутова швидкість печі при максимальній частоті обертання $n = 1,25 \text{ про/хв}$,

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1,25}{30} = 0,13 \text{ рад/с}.$$

Приймаємо 2 електродвигуни АКЗ-13-25-6 потужністю $N = 250 \text{ кВт}$ і частотою обертання $n_{\text{дв}} = 900 \text{ про/хв} = 94 \text{ рад/с}$.

Загальне передаточне число головного привода

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n} = \frac{900}{1,25} = 720$$

5.2.2. Потужність допоміжного приводу

Потужність допоміжного приводу, що забезпечує частоту обертання печі $n_{\text{всп}} = 3,58 \text{ об/рік}$ чи $n_{\text{всп}} = 0,059 \text{ об/хв} = 0,006 \text{ рад/сек}$ визначимо, припустивши, що момент, що крутить, на осі печі однаковий при обертанні її від головного і від допоміжного приводів:

$$N_{\text{всп}} = \frac{N_{\text{зл}} \cdot n_{\text{всп}}}{n \cdot \eta_{\text{всп}}} = \frac{250 \cdot 0,059}{1,25 \cdot 0,96} = 26,4 \text{ кВт},$$

де $\eta_{\text{всп}} = \eta_{\text{зн}}^2 = 0,98^2 = 0,96$ – ККД допоміжні редуктори

Приймаємо 2 двигуни АОП 2-82-8.

Необхідне передаточне число редуктора допоміжного привода

$$i_{\text{всп}} = \frac{n_{\text{дв.всп.}}}{n_{\text{всп.}} \cdot i_{\text{зл.пр.}}} = 9600 \cdot \frac{30 \cdot 0,96 \cdot 15,6}{735} = 5868 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент, що крутить, на тихохідному валу цього редуктора

$$M_{\text{вх.всп.}} = M_{\text{кр.зл}} = 9600 \cdot \frac{N_{\text{дв.всп.}} \cdot n_{\text{всп.}} \cdot i_{\text{всп.}}}{n_{\text{дв.всп.}}} = 9600 \cdot \frac{30 \cdot 0,96 \cdot 15,6}{735} = 5868 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приймаємо 2 редуктори HV-500, циліндричних з передаточним числом $i = 15,75$

5.3. Тепловий розрахунок

5.3.1. Вихідні дані

Зовнішній діаметр печі $d_n = 5\text{ м}$;

Загальна поверхня теплообміну $F_n = 4650\text{ м}^2$;

Теплова потужність печі $\theta_n = 502 \cdot 10^6 \text{ кДж/рік}$;

Нижча теплота згоряння палива $Q_{\text{низ}}^p = 21520 \text{ кДж / кг}$;

Вологість шламу $W_m = 38\%$;

Питома витрата сухої сировини $G_M^{\text{сух}} = 1,48 \text{ м / кг} \cdot \text{кл}$;

Вихід продуктів горіння $V_g = 6,53 \text{ Н} \cdot \text{м}^3/\text{кг тон}$;

Тепломісткість повітря і палива, що надходять у піч $g'_r = 1037,5 \text{ кДж / кг} \cdot \text{кл}$;

Витрати тепла в навколишнє середовище $g_{\text{ном}} = 824,8 \text{ кДж/кг} \cdot \text{кл}$.

5.3.2. Розбивка печі на зони

Прийнятий в розрахунку розподіл печі на зони показаний в таблиці 5.1, у якій приведені температури матеріалу на границях зон, фізико-хімічні перетворення, константи матеріалу і ін.

Нумерацію зон проведемо від гарячого кінця.

Прийнято, що ступінь осаду пилу в зоні дорівнює 50% і, отже, кількість пилу, що циркулює в печі, дорівнює кількості пилу, що виноситься з її; пил, вловлений в системі газоочищення, повертає в зону зачіпну завісу. Загальна кількість пилу, що виділяється всередині печі, дорівнює:

$$G_{\text{пл}}^{\text{об}} = G_M^{\text{сух}} \frac{(10+10)}{10} = 1,48 \cdot 0,2 = 0,296 \text{ м / кг} \cdot \text{кл}.$$

Таблиця 5.1.

№ зон и	Темпера- тура матеріал у		Фізико-хімічні процеси	Виділення пилу з матеріалу в %	Присадк а до матеріал у в %		Втрат и тепла в навк. середо- вище
	t'_M	t''_M					
1	1200	1300	Нагрівання палива і повітря до темп. запал. 700 ⁰ С. Охолодження клінкера.	-	-	-	29,4
2	1300	1400	Горіння палива. Охолодження клінкеру. Застигання рідкої фази.	-	-	-	54,6
3	1400	1300	Горіння палива, утворення 20% рідкої фази, 75% C ₃ S	-	-	-	63
4	1300	950	Декарбонізація 15% CaCO ₃ , C ₄ AF-100%; C ₃ A-100%; C ₂ S-20%; C ₃ S-25%; рідкої фази 80%.	-	-	30	155,4
5	950	600	Декарбонізація CaCO ₃ -70%. Утворення C ₂ S-80%	40	-	15	252
6	600	400	Декарбонізація MgCO ₃ -100%; CaCO ₃ -15%	10	-	15	84
7	400	100	Випар води 1,6%	10	-	15	126
8	100	10	Випар води 98,4%	40	50	25	63

5.3.3. Теоретична температура горіння

$$t_{теор} = t_z + \frac{q_{K_1} - q_z}{q_{K_2} - q_z} \cdot 100,$$

де $t_z = 2300^0C$ – температура горіння;

$q_{K_1} = 1764,1 \text{ кДж / кг}$ - тепломісткість продуктів горіння;

$q_{K_2} = 1875 \text{ кДж / кг}$ - тепломісткість продуктів горіння при 2400^0C

$q_r = 1700 \text{ кДж / кг}$ - тепломісткість продуктів горіння при 2300^0C .

$$t_{теор} = 2300 + \frac{1764,1 - 1700}{1875 - 1700} \cdot 100 = 2544^0C$$

Умовна швидкість продуктів горіння в холодному кінці печі при н.у.:

$$w_{\text{сн}} = \frac{V_{\text{с}} \cdot \theta_n}{Q_{\text{ннз}}^p \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot D_n} = \frac{6,53 \cdot 502 \cdot 10^6}{21520 \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot 4,7} = 2,26 \text{ H} \cdot \text{M}^3 / \text{M}^2 \cdot \text{ceK}$$

5.3.4. Ступінь тепловикористання

$$\eta_{\text{теп}} = \frac{1}{0,43 \cdot \left(\frac{F_n}{D_n^2}\right)^{0,1} + \left(\frac{\theta_n}{\sigma \cdot t_{\text{теор}}^4 \cdot F_n}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{\sigma \cdot t_{\text{теор}}^3}{w_{\text{зн}}^{0,8}}\right)^{0,25}} = \frac{1}{0,43 \cdot \left(\frac{4650}{4,6^2}\right)^{0,1} + \left(\frac{502 \cdot 10^6}{4,96 \cdot 10^{-8} \cdot 2544^4 \cdot 4650}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{4,96 \cdot 10^{-8} \cdot 2544^3}{2,26^{0,8}}\right)^{0,25}} = 0,818$$

де $\sigma = 4,96 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{}^{\circ}\text{Дж}$ – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

$F_n = 4650 \text{ м}^2$ – загальна поверхня теплообміну;

$\theta_n = 502 \cdot 10^6 \text{ кВт/год}$ – теплова потужність печі;

$D_n = 4,6 \text{ м}$ – діаметр.

Тепловикористання матеріалу:

$$q_m = G_m^{\text{сх}} \left(Z + \frac{595 \cdot W_m}{100 - W_m} \right) = 1,48 \cdot \left(1779 + \frac{595 \cdot 38}{100 - 38} \right) = 5191,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{кл}},$$

де $Z = 1779 \text{ кДж/кг} \cdot \text{кл}$ – тепловикористання сухої сировини.

Питома витрата тепла:

$$g_n = \frac{g_m + g_{\text{пот}}}{\eta_{\text{теп}}} - q_c' = \frac{5191,9 + 824,8}{0,818} - 1037,5 = 6310 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{кл}}$$

Продуктивність печі:

$$B_{\text{кл}} = \frac{\theta_n}{q_n \cdot 1000} = \frac{502 \cdot 10^6}{6310 \cdot 1000} = 73,7 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Величина:

$$\frac{1000 \cdot B_{\text{кл}}}{D_n^2} = \frac{10^3 \cdot 73,7}{4,6^3} = 763,$$

що не перевищує значення, припустимого за умовами утворення клінкеру.

5.3.5. Тепловий баланс печі

Тепловий баланс складає на 1 кг кл, причому відправною точкою служить 0°C .

Теплота згоряння палива:

$$q_n = G_m \cdot Q_{\text{низ}}^p = G_m \cdot 21588 \text{ кДж/кг}$$

Тепломісткість палива:

$$q_m^{\varnothing} = G_m \cdot C_m \cdot t_m = G_m \cdot 1,26 \cdot 50 = 63 \cdot G_m \text{ кДж/кг} \cdot \text{кл},$$

де $C_m = 1,26$ – теплоємність газоподібного палива;

$t_m = 50^0$ – температура палива;

G_m – витрата робочого палива;

Тепломісткість сировини:

$$q_m^{\varnothing} = [G_m^{c_{yx}} \cdot C_m + G_w^M] \cdot t_m = [1,48 \cdot 0,88 + 0,908] \cdot 10 = 51,24 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{кл},$$

де $C_m = 0,88 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{град}$;

$G_m = 1,48 \text{ кг} / \text{м}$ – витрата матеріалу.

Теплоємність повітря:

$$q_m^{\varnothing} = V_{\epsilon}^* \cdot G_m \cdot C_{\epsilon} \cdot t_{\epsilon} = 6,25 \cdot G_m \cdot 1,3 \cdot 1,5 = 122,2 \cdot G_m \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{кл},$$

де $C_{\epsilon} = 1,3 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{град}$ – теплоємність повітря при температурі $t_b = 15^0$;

$V_{\epsilon}^* = 6,25 \text{ Н} \cdot \text{м}^3 / \text{кг} \cdot \text{тон}$ – практична витрата палива;

Тепловий ефект утворення клінкеру

Мінералогічний склад клінкеру:

$$C_4AF = 3,04 \cdot Fe_2O_3 = 3,04 \cdot 3,5 = 10,64\%;$$

$$C_3A = 2,65 \cdot Al_2O_3 - 1,69 \cdot Fe_2O_3 = 2,65 \cdot 6,5 - 1,69 \cdot 3,5 = 11,32\%$$

$$C_3S = 4,07 \cdot CaO - 7,6 \cdot SiO_2 - 6,72 \cdot Al_2O_3 - 1,43 \cdot Fe_2O_3 = \\ = 4,07 \cdot 66 - 7,6 \cdot 22,5 - 6,72 \cdot 6,5 - 1,43 \cdot 3,5 = 48,9\%;$$

$$C_2S = 8,6 \cdot SiO_2 - 3,07 \cdot CaO + 5,1 \cdot Al_2O_3 + 1,08 \cdot Fe_2O_3 = \\ = 8,6 \cdot 22,5 - 3,07 \cdot 66 + 5,1 \cdot 6,5 + 1,08 \cdot 3,5 = 27,9\%$$

Витрата тепла на дегідратацію каолініту сировини:

$$G_{H_2O}^M \cdot 1640 = 0,074 \cdot 1640 = 121,8 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{кл},$$

де 1640 кДж/кг гідратної води – тепловий ефект дегідратації каолініту.

Витрата тепла на декарбонізацію $CaCO_3$ і $MgCO_3$:

$$G_{CaCO_3}^M \cdot 425 + G_{MgCO_3}^M \cdot 334 = 4,85 \cdot 425 + 0,105 \cdot 334 = 2095,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{кл}}$$

Витрата тепла на утворення рідкої фази 210 кДж/кг·кл

Прихід тепла в результаті утворення клінкерних мінералів:

$$\frac{1}{100} \cdot (C_3S \cdot 126 + C_2S \cdot 171 + C_3A \cdot 14,6 + C_4AF \cdot 26) = \\ = \frac{1}{100} \cdot (205,4 \cdot 126 + 117,18 \cdot 171 + 47,84 \cdot 14,6 + 44,69 \cdot 26) = 477,54 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{кл}.$$

Прихід тепла в результаті застигання рідкої фази 105 кДж/кг·кл

Тепловий ефект утворення клінкеру:

$$Q_p = 121,8 + 2095,8 + 210 - 477,54 - 105 = 1845,06 \text{ кДж/кг} \cdot \text{кл},$$

Витрата на випаровування води із сировини:

$$q_w^M = G_w^M \cdot 595 = 3,8 \cdot 595 = 2269 \text{ кДж/кг} \cdot \text{кл},$$

де $595 \text{ кДж/кг} \cdot \text{кл}$ – схована теплота утворення водяної пари при 0°C .

Витрата тепла з газами, що відходять:

$$q_z^{\text{омх}} = \left[(V_{CO_2}^m + V_{CO_2}^M) \cdot C_{CO_2} + V_{CO}^m C_{CO} + V_{CH_4}^m C_{CH_4} + V_{H_2}^m C_{H_2} + \right. \\ \left. + V_{N_2}^m C_{N_2} + V_{O_2}^m C_{O_2} + (V_{H_2O}^m + V_w^M + V_{H_2O}^M) \cdot C_{H_2O} \right] \cdot t_2^{\text{омх}} = \\ = [(1,035 \cdot G_m + 0,266) \cdot 1,84 + 4,95 \cdot G_m \cdot 1,3 + 0,119 \cdot G_m \cdot 1,35 + (0,427 \cdot G_m + 1,15) \cdot 1,54] \cdot 250 = \\ = 22997,4 \cdot G_m + 562,8 \text{ кДж/кг} \cdot \text{кл}$$

Витрата тепла від хімічного недопалу:

$$q_{xn} = V_{CO}^m \cdot 12789 + V_{CH_4}^m \cdot 36246 + V_{H_2}^m \cdot 10794 = 0 \cdot 12789 + 0 \cdot 36246 + 0 \cdot 10794 = 0,$$

де $12789, 36246, 10794 \text{ кДж/Н} \cdot \text{м}^3$ – нижча теплота згоряння CO , CH_4 , H_2 .

Витрата тепла від механічного недопалу:

$$q_{mn} = \frac{8100}{100} \cdot G_{nl}^{\text{бвз}} \cdot C_y = \frac{34020}{100} \cdot 0,03 = 0,$$

де $C_y = 0$ – зміст вуглецю в сухому матеріалі;

$$8100 \text{ ккал/кг} = 34020 \text{ кДж/кг} \cdot \text{кл};$$

Витрата тепла з клінкером:

$$q_{кл} = c_{кл} \cdot t_{кл} = 0,79 \cdot 100 = 79 \text{ кДж/кг} \cdot \text{кл},$$

де $c_{кл} = 0,79 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$ – теплоємність клінкера при $t_{кл} = 100^\circ$.

Витрата тепла з повітрям, що викидається з холодильника:

$$q_{\epsilon}^{u3} = \left[V_{\epsilon x} - \left(1 - \frac{P_{\epsilon 3}}{100} \right) \cdot V_{\epsilon}^* \cdot G_m \right] \cdot C_{\epsilon} \cdot (t_{\epsilon}^{u3} - t_{\epsilon}) = \\ = (2,4 - 0,95 \cdot 26,25 \cdot G_m) \cdot 1,3 \cdot (170 - 15) = 483 - 11928 \cdot G_m \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{кл}},$$

де $V_{\epsilon x} = 2,4 \text{ Н} \cdot \text{м}^3/\text{кг}$ – теоретична витрата;

$$t_{\epsilon}^{u3} = 170^\circ - \text{температура повітря з холодильника};$$

$$t_{\epsilon} = 15^\circ - \text{температура повітря}.$$

Витрата тепла з віднесенням:

$$q_{nl} = G_{nl}^{\text{бвз}} \cdot C_{nl} \cdot t_z^{\text{nl}} + (G_{nl} - G_{nl}^{\text{бвз}}) \cdot C_{nl} \cdot (t_z^{\text{омх}} - t_{nl}) = \\ = 0,03 \cdot 1,05 \cdot 250 + (0,62 - 0,03) \cdot 1,05 \cdot (250 - 50) = 31,5 \text{ кДж/кг} \cdot \text{кл},$$

де $C_{nl} = 1,05 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$ – теплоємність викиду.

Витрата тепла в навколишнє середовище печі:

$$q_{\text{пот}} = 21588 \cdot G_m \cdot \Pi_{\text{пот}} = 21588 \cdot G_m \cdot 0.137 = 2961 \text{ кДж / кг кл.}$$

З рівняння теплового балансу визначаємо значення G_m :

$$21588 \cdot G_m + 63 \cdot G_m + 51,24 + 122,2 \cdot G_m = 1845,06 + 2268 + 2297,4 \cdot G_m + 562,8 + 78,96 + 483 - 1192,8 \cdot G_m + 31,5 + 2961 \cdot G_m$$

$$G_m = 0,295 \text{ кДж/кг кл.}$$

Питома витрата сировини на випал:

$$q_n = Q_{\text{нлз}}^p \cdot G_m = 21588 \cdot 0,295 = 6363 \text{ кДж / кг кл.}$$

Тепловий баланс

Таблиця 5.2.

Прихід			Витрата		
Найменування	Кількість		Найменування	Кількість	
	кДж/кг кл	%		кДж/кг кл	%
Теплота згоряння	6363	98,36	Теор. тепло клинкероутворення	1845,06	28,5
Тепломісткість палива	18,9	0,29	Витрата тепла на випар води	2268	35,1
Тепломісткість сировини	51,24	0,79	Витрата тепла с вітх. газами	1243,2	19,2
Тепломісткість повітря	36,12	0,46	Витрата тепла з клинкером	78,96	1,2
			Витрата тепла з повітрям із холодильника	132,72	2,1
			Витрата у навколишнє середовище	869,4	13,4
			Витрата з віднесенням	31,5	0,5
Разом:	6469,2	100	Разом:	6469	100

5.4. Розрахунок на міцність

5.4.1. Розрахунок опорно-ходової частини

Контактні напруга в парі бандаж-ролик:

$$\sigma_{\kappa} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{PE}{b} \cdot \frac{(R_{\delta} + R_p)}{R_{\delta} \cdot R_p}} = 0,148 \cdot \sqrt{\frac{3837 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot (2,98 + 0,85)}{0,9 \cdot 2,98 \cdot 0,85}} = 477 \text{ МПа},$$

де P – тах навантаження на опорний ролик при максимальному навантаженні на опору,

$$P = \frac{Q_{\max}}{2 \cdot \cos \beta} = \frac{6600}{2 \cdot \cos 30,3^\circ} = 3837 \text{ кН}, \text{ где } Q_{\max} = 6600 \text{ кН}$$

(по таблиці 2.2. [3]);

E – модуль пружності матеріалу бандажа і ролика, $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$; $b = 0,9$ – ширина бандажа.

Припустимі контактні напруження

$$[\sigma_{\kappa}]' = 4,9 \text{ НВ} \cdot (1 - 0,001 \text{ НВ}) = 4,9 \cdot 160 \cdot (1 - 0,001 \cdot 160) = 660 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{\kappa}]' = 660 \text{ МПа} > \sigma_{\kappa} = 477 \text{ МПа}$$

$\text{НВ} \approx 160$ – твердість робочих поверхонь бандажа і ролика по Бринелю.

5.4.2. Розрахунок осі опорного ролика

Визначимо напруги в перетинах I, II і запаси міцності в цих перетинах (рис. 5.1.).

Осьова сила, що діє на ролик, $A = P \cdot f_c = 3837 \cdot 10^3 \cdot 0,2 = 767 \cdot 10^3 \text{ Н}$, де f_c – коефіцієнт тертя по сталі, $f_c = 0,2$

Згинальний момент від осьової сили:

$$M = A \cdot R_p = 767 \cdot 10^3 \cdot 0,85 = 652 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальну реакцію опор знаходимо:

$$R_A = \frac{P}{2} + \frac{G_p}{2} + \frac{M}{L} = \frac{3837 \cdot 10^3}{2} + \frac{240 \cdot 10^3}{2} + \frac{652 \cdot 10^3}{2,8} = 2271 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

де L – відстань між опорами, $L = 2,8 \text{ м}$.

Моменти опору перетинів I, II:

$$W_I = 0,1 \cdot d_I^3 = 0,1 \cdot 600^3 = 2,16 \cdot 10^7 \text{ мм}^3;$$

$$W_{II} = 0,1 \cdot d_{II}^3 = 0,1 \cdot 700^3 = 3,43 \cdot 10^7 \text{ мм}^3.$$

Тут d , d_{II} – діаметри осі в перетинах I, II: $d = 600$ мм, $d_{II} = 700$ мм.

Нормативні напруження в перетинах I, II:

$$\sigma = \frac{R_A \cdot l_1}{W_1} = \frac{2271 \cdot 10^3 \cdot 500}{2,16} = 52,6 \text{ МПа}$$

Запас міцності з урахуванням ослаблення перетину жолобу:

$$n = \frac{\sigma_{-1} \cdot K_d \cdot K_v}{\sigma \cdot K_\sigma} = \frac{250 \cdot 0,8 \cdot 1}{52,6 \cdot 2,5} = 1,52,$$

де $\sigma_{-1} = 250$ МПа (сталь 40Х); $D\sigma$, K_d , K_v – ефективні коефіцієнти концентрації напруження для галтелі, впливу абсолютних розмірів поперечного перерізу, впливу стану поверхневого зміцненого шару. Для визначення коефіцієнтів приймемо радіус галтелі $r = 20$ мм, тоді $r/d_{II} = 20/600 = 0,033$;

$$d_{II}/d = 700/600 = 1,16.$$

Коефіцієнт концентрації напруги знаходимо по таблиці П1 [3]: при виготовленні осі зі сталі 40Х $\sigma_y = 600$ МПа, $D\sigma = 2,5$.

Коефіцієнт впливу абсолютних розмірів $K_d = 0,8$ по таблиці П2 [3]; $K_v = 1$.

У перетині I запас міцності $n = 1,52$ більше припустимого $[n] = 1,5$. В інших перетинах запаси міцності ще більші.

5.4.3. Розрахунок підшипників кочення на довговічність.

Осі опорних роликів установлені на чотирирядні конічні роликопідшипники № 10777/560, нестандартні, сприймаючі навантаження радіально. Осьове навантаження сприймають роликопідшипники трирядні №9889468. Максимальне значення опорної реакції знайдене раніше:

$$R_A = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

Приведене навантаження на радіальний підшипник при $y = 0$, $x = 1$ складає

$$P_{np} = R_A \cdot K_K \cdot K_\sigma \cdot K_m = 2,3 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1 = 2,99 \cdot 10^6 \text{ Н,}$$

де $K_K = 1$, $K_\sigma = 1,3$, $K_m = 1$ – коефіцієнти обертання, безпеки і температурний.

Приведене навантаження на упорний підшипник:

$$P_{np}^0 = A \cdot K_\sigma \cdot K_m = 767 \cdot 10^3 \cdot 1,3 \cdot 1 = 0,9 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Довговічність підшипників:

для радіальних

$$(nh)^{0,3} = \frac{C_p \cdot g}{p_{np}^R} = \frac{20,5 \cdot 10^6 \cdot 9,81}{2,99 \cdot 10^6} = 67,3,$$

для упорних

$$(nh)^{0,3} = \frac{4,18 \cdot 10^6 \cdot 9,81}{0,9 \cdot 10^6} = 45,6.$$

Тут C_p – коефіцієнти працездатності, узяті з таблиць 2, 3 [3] для використовуваних підшипників. Частота обертання підшипників

$$n_n = n \cdot \frac{R_\delta}{R_p} = 1,25 \cdot \frac{2,98}{0,85} = 4,48 \text{ об/мин} = 0,23 \text{ рад/сек.}$$

Довговічність радіального підшипника $h_{rad} \geq 10^5$ ч > 10 років. Довговічність упорного підшипника $h_{yn} = 33800$ ч ≈ 4 роки. Треба врахувати, що має постійне осьове переміщення, причому 25% робочого часу переміщається нагору, а 75% - униз.

Найбільш навантажений “нижній” упорний підшипник завантажений тільки 75% часу, тому фактична довговічність упорного підшипника:

$$h_{yn}^{\varnothing} = \frac{h_{yn}}{0,75} = \frac{4,0}{0,75} = 5,3 \text{ года} > 5 \text{ лет}$$

5.4.4. Розрахунок бандажів

Максимальний згинальний момент у перетині бандажу над опорним роликом:

$$M_{из} = a_\delta \cdot Q_{\max} \cdot R = 0,08 \cdot 6600 \cdot 10^3 \cdot 2,55 = 1,3 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $R = 2,55$ м – внутрішній радіус бандажу.

Момент опору перетину бандажу:

$$w_\delta = \frac{b_\delta \cdot h^2}{6} = \frac{0,9 \cdot 0,43^2}{6} = 0,028 \text{ м}^3;$$

де $b_\delta = 0,9$ м – ширина бандажу.

h – товщина бандажу, $h = R_\delta - R = 2,98 - 2,55 = 0,43$ м.

Максимальна напруга вигину:

$$\sigma_u = \frac{M_{из}}{w} = \frac{1,3 \cdot 10^6}{0,028} = 4,6 \cdot 10^6 \text{ Па} = 46 \text{ МПа}$$

Необхідне для суцільного з'єднання нагрітих бандажу і підбандажної обичайки теплові кільцеві зазори визначаємо в холодній зоні й у гарячій:

$$\Delta_x = 2 \cdot \alpha \cdot (R_K \cdot t_K^x - R_{\delta, \epsilon} \cdot t_{\delta}^x) = 2,0 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot (2,55 \cdot 100 - 2,765 \cdot 50) = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\Delta_x = 2 \cdot \alpha \cdot (R_K \cdot t_K^z - R_{\delta, \epsilon} \cdot t_{\delta}^z) = 2,0 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot (2,55 \cdot 350 - 2,765 \cdot 200) = 8,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Тут α - коефіцієнт лінійного розширення для сталі $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$;

$R_K = R = 2,55 \text{ м}$ – зовнішній радіус підбандажної обичайки з урахуванням товщини прокладок;

$R_{\delta, \epsilon}$ – середній радіус бандажа:

$$R_{\delta, \epsilon} = \frac{R_{\delta} + R}{2} = \frac{2,98 + 2,55}{2} = 2,765 \text{ м};$$

$t_K^x, t_{\delta}^x, t_K^z, t_{\delta}^z$ - температура корпусу і бандажу в холодній і гарячій зонах, приймаємо $t_K^x = 100^{\circ}\text{C}$, $t_{\delta}^x = 50^{\circ}\text{C}$, $t_K^z = 350^{\circ}\text{C}$, $t_{\delta}^z = 200^{\circ}\text{C}$.

Знайдені значення теплового зазору забезпечують суцільне з'єднання бандажу і підбандажної обичайки в нагрітому стані з нульовим натягом.

Якщо прийняти зазори на $\Delta = 6 \text{ мм}$ менше, те забезпечиться посадка бандажу на підбандажну обичайку з тепловим натягом. При цьому максимально можливий питомий тиск:

$$q_m = \frac{\delta}{\frac{\alpha_1 - \mu_1}{E_1} + \frac{\alpha_2 - \mu_2}{E_2}} = \frac{1,1 \cdot 10^{-3}}{\frac{12 - 0,3}{1,8 \cdot 10^{11}} + \frac{6,68 - 0,3}{1,8 \cdot 10^{11}}} = 10,9 \text{ МПа}$$

де δ - відносний натяг,

$$\delta = \frac{\Delta}{2 \cdot R} = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2,55} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$\alpha_1 = \frac{1 + C_1^2}{1 - C_1^2} = \frac{1 + 0,92^2}{1 - 0,92^2} = 12;$$

$$\alpha_2 = \frac{1 + C_2^2}{1 - C_2^2} = \frac{1 + 0,86^2}{1 - 0,86^2} = 6,68;$$

$$C_1 = \frac{D_{\epsilon}}{D} = \frac{4,7}{5,1} = 0,92;$$

$$C_2 = \frac{D}{D_n} = \frac{5,1}{5,95} = 0,86,$$

де D – внутрішній діаметр бандажу, $D = 2R = 2 \cdot 2,55 = 5,1 \text{ м}$;

D_n – зовнішній діаметр бандажу, $D_n = 2R_{\delta} = 2 \cdot 2,98 = 5,95 \text{ м}$;

D_{ϵ} – внутрішній діаметр підбандажної обичайки, $D_{\epsilon} = 4,7 \text{ м}$;

E – модуль пружності для сталі при температурі близько 200°C , $E_1 \approx E_2 = 1,8 \cdot 10^{11} \text{ Па}$;

μ - коефіцієнт Пуассона для матеріалу бандажу і підбандажної обичайки,

$$\mu_1 = \mu_2 = 0,3.$$

Далі визначаємо напруги в бандажі, викликані тепловим натягом. Напруги на внутрішній поверхні бандажу отримуємо, використовуючи рівняння:

Нормальне

$$\sigma_o^e = \frac{1+C_2^2}{1-C_2^2} \cdot q_m = \frac{1+0,86^2}{1-0,86^2} \cdot 10,9 = 72,8 \text{ МПа},$$

Радіальне

$$\sigma_q^e = -q_m = -10,9 \text{ МПа}$$

Напруження на зовнішній поверхні бандажу:

нормальне:

$$\sigma_o^H = \frac{2 \cdot C_2^2}{1-C_2^2} \cdot q_m = \frac{2 \cdot 0,86^2}{1-0,86^2} \cdot 10,9 = 61,9 \text{ МПа},$$

Радіальне

$$\sigma_q^H = 0$$

Еквівалентні напруження на внутрішній поверхні бандажу:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{(\sigma_o^e + \sigma_u)^2 + (\sigma_q^e)^2 - (\sigma_q^e + \sigma_u) \cdot (\sigma_o^e)} = \sqrt{(38 + 46)^2 + (-10,9)^2 - (38 + 46) \cdot 10,9} = 89,9 \text{ МПа}$$

Напруження, що допускаються, при виконанні бандажу зі сталі 29ГСП $[\sigma] = 250 \text{ МПа}$

5.4.5. Розрахунок гідроупорів

Сила, необхідна для переміщення печі гідроупорами:

$$P'_{\text{г.д.}} = G_{\text{об}} \cdot i = 38,35 \cdot 10^6 \cdot 0,035 = 1,34 \cdot 10^6 \text{ Н}.$$

Умовно вважаємо, що ця сила повинна створюватися двома гідроупорами, хоча їх 3:

$$P_{\text{г.д.}} = P'_{\text{г.д.}} / 2 = 1,34 / 2 = 0,67 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Контактні напруження в парі бандаж – опорний ролик:

$$\sigma_{\kappa} = 0,418 \cdot \sqrt{q \cdot E \cdot \frac{R_o^H + R_p^H}{R_o^H \cdot R_p^H}} = 0,418 \cdot \sqrt{21,68 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot \frac{14,6 + 0,58}{14,6 \cdot 0,58}} = 4,09 \cdot 10^8 \text{ Па} = 409 \text{ МПа}$$

Тут q – тиск у парі бандаж – опорний ролик,

$$q = \frac{P_{\epsilon \partial}}{b} = \frac{0,67 \cdot 10^6}{0,19} = 2,68 \cdot 10^6 \text{ Н/м}; \quad b = 0,19 \text{ м}$$

- ширина опорного ролика;

R_o'', R_p'' - радіуси поверхонь кочення бандажу і ролика в площині, нормальній до лінії їх контакту.

Для визначення R_o'' та R_p'' необхідно знати середній радіус опорної поверхні бандажу:

$$R_{cp}'' = R_o - \frac{b}{2} = 2,08 - \frac{0,19}{2} = 2,86 \text{ м.}$$

Тоді при радіусі упорного ролика $R_{p.y.} = 0,6 \text{ м}$, отримаємо:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{R_{p.y.}}{R_o} = \frac{0,6}{2,98} = 0,2;$$

$$\gamma = \arctg 0,2 = 11,1^\circ;$$

$$R_o'' = \frac{R_{cp}''}{\sin \gamma} = \frac{2,86}{\sin 11,1^\circ} = 14,6 \text{ м};$$

$$R_p'' = \frac{R_{cp}'' \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\cos \gamma} = \frac{2,86 \cdot 0,2}{\cos 11,1^\circ} = 0,58 \text{ м};$$

Контактні напруження, що допускаються, при твердості поверхонь бандажу і упорного ролика $H_B = 160$, як було визначено раніше, $[\partial_o] = 660 \text{ МПа} > \partial_o = 409 \text{ МПа}$.

Міцність цапфи упорного ролика (рис. 5.2.) при зовнішньому діаметрі $D_o = 0,53 \text{ м}$ і внутрішньому $d_o = 0,15 \text{ м}$ перевіряємо в перетині, де циліндрична частина переходить у конічну. Згинальний момент у цьому перетині:

$$M_1 = P_{\epsilon \partial} \cdot (h - h_1) = 0,67 \cdot 10^6 \cdot (0,422 - 0,3295) = 0,62 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $h = 0,422 \text{ м}$; $h_1 = 0,3295 \text{ м}$.

Момент опору цього перетину:

$$W_1 = 0,1 \cdot \frac{D_o^4 - d_o^4}{D_o} = 0,1 \cdot \frac{(0,53^4 - 0,15^4)}{0,53} = 14,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Напруження згину:

$$\sigma = \frac{M_1}{W_1} = \frac{0,62 \cdot 10^5}{14,8 \cdot 10^{-3}} = 4,2 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 4,2 \text{ МПа}$$

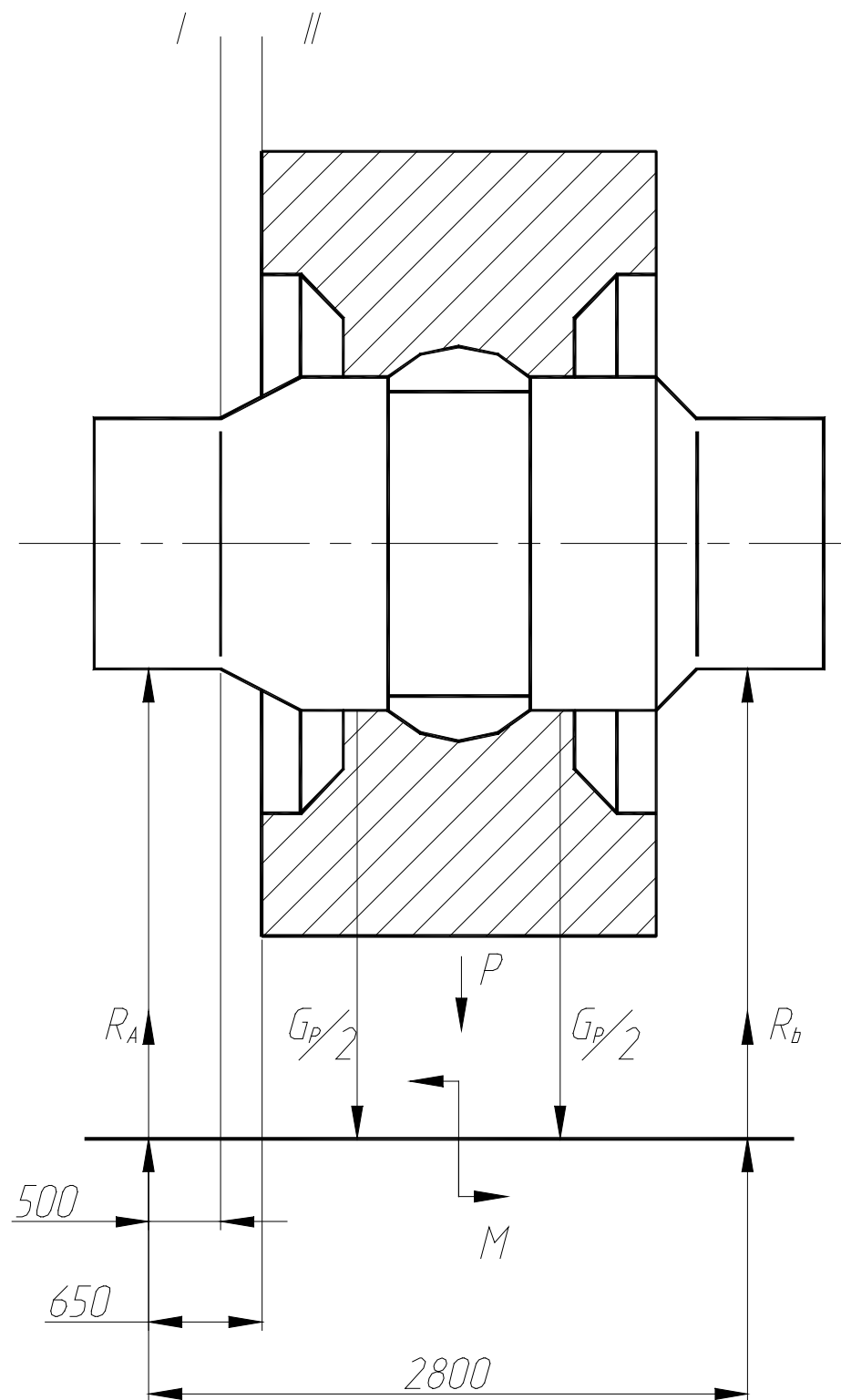


Рис. 5.1. Вісь опорного ролика

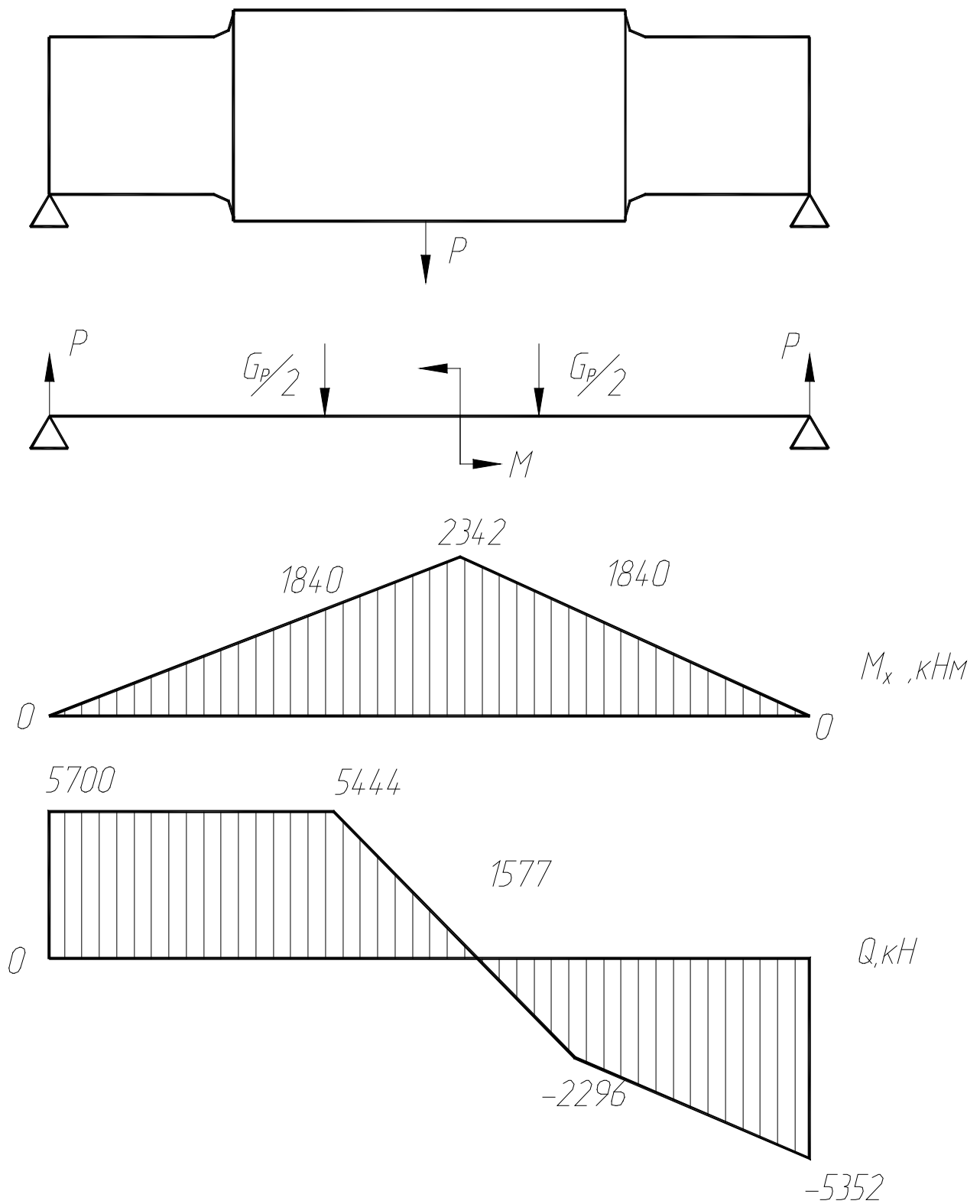


Рис. 5.2. Схема навантажень, епюри моментів і перерізуючих сил опорного ролика

Напруження, що допускаються, приблизно на порядок вищі, тому запас міцності не визначаємо через малі напруження в перетині. В інших перетинах напруження будуть ще менші. Перевірку міцності напрямних упорного ролика робимо для випадку, коли ролик знаходиться посередині направляючої. Для визначення максимального згинаючого моменту, що діє в перетині D , знаходимо зусилля R_c , R_d при наступних геометричних розмірах:

$$a = 0,8 \text{ м}; \quad d_{p.y.} = D_{p.y.} - 2 \cdot b \cdot \operatorname{tg} \gamma = 1,1 - 2 \cdot 0,19 \cdot 0,2 = 1,024 \text{ м}; \quad l = 1,2 \text{ м}.$$

Тоді отримаємо такі зусилля:

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{P_{c.d.} \cdot h}{2 \cdot a} - \frac{P_\epsilon}{2 \cdot a} \cdot \left(\frac{D_{p.y.} + d_{p.y.}}{4} + \frac{a}{2} \right) = \frac{0,67 \cdot 10^6 \cdot 0,422}{2 \cdot 0,8} - \\ &- \frac{1,34 \cdot 10^6}{2 \cdot 0,8} \cdot \left(\frac{1,1 + 1,024}{4} + \frac{0,8}{2} \right) = 0,99 \cdot 10^5 \text{ Н}; \\ R_d &= \frac{P_{c.d.} \cdot h}{2 \cdot a} - \frac{P_\epsilon}{2 \cdot a} \cdot \left(\frac{D_{p.y.} + d_{p.y.}}{4} - \frac{a}{2} \right) = \frac{0,67 \cdot 10^6 \cdot 0,422}{2 \cdot 0,8} - \\ &- \frac{1,34 \cdot 10^6}{2 \cdot 0,8} \cdot \left(\frac{1,1 + 1,024}{4} - \frac{0,8}{2} \right) = 1,66 \cdot 10^5 \text{ Н}; \\ R_A &= \frac{R_c}{1,2} \cdot \left(a + \frac{l-a}{2} \right) - \frac{(l-a) \cdot R_d}{2 \cdot l} = \frac{0,99 \cdot 10^5}{1,2} \cdot \left(0,8 + \frac{1,2-0,8}{2} \right) - \frac{(1,2-0,8) \cdot 1,66 \cdot 10^5}{2 \cdot 1,2} = 5,5 \cdot 10^4 \text{ Н}; \\ R_B &= \frac{R_d}{1,2} \cdot \left(a + \frac{l-a}{2} \right) - \frac{(l-a) \cdot R_c}{2 \cdot l} = \frac{1,66 \cdot 10^5}{1,2} \cdot \left(0,8 + \frac{1,2-0,8}{2} \right) - \frac{(1,2-0,8) \cdot 0,99 \cdot 10^5}{2 \cdot 1,2} = 12,1 \cdot 10^4 \text{ Н}; \end{aligned}$$

Тут P_ϵ – вертикальна складова сили, що зрушує $P_\epsilon = P_{co} \cdot \operatorname{tg} \gamma = 0,67 \cdot 10^6 \cdot 0,2 = 1,34 \cdot 10^5 \text{ Н}$., Вага упорного ролика $Gp = 19,6$ (103 Н) значно менше зусиль P_{co} , P_ϵ , тому без великої погрішності ними можна знехтувати.

Максимальний згинальний момент буде діяти в перетині B :

$$M_\epsilon = R_\epsilon \cdot \frac{l-a}{2} = 12,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1,2-0,8}{2} \right) = 2,42 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент опору перетину направляючої з діаметром $d_n = 0,5 \text{ м}$ дорівнює:

$$W_H = 0,1 \cdot d_n^3 = 0,1 \cdot 0,5^3 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Напруження на згин в цьому перетині:

$$\sigma = \frac{M_\epsilon}{W_H} = \frac{2,42 \cdot 10^4}{1,25 \cdot 10^{-3}} = 19,3 \text{ МПа}$$

При виконанні напрямних зі сталі 45 границю витривалості при згині можна приймати $\sigma_{-1} = 0,4 \cdot \sigma_y = 0,4 \cdot 600 = 240 \text{ Мпа}$, де межа міцності $\sigma_y = 600 \text{ Мпа}$. Запас міцності по границі витривалості

$$n = \frac{\sigma_{-1} \cdot K_d \cdot K_v}{\sigma} = \frac{240 \cdot 0,88 \cdot 1,1}{19,3} = 12,03,$$

де K_d – коефіцієнт впливу абсолютних розмірів поперечного перерізу, по таблиці П2 [3] $K_d = 0,88$, по таблиці П3 [3] $K_v = 1,1$.

Робочий хід печі під дією гідроупорів l_x приймаємо рівним $0,07$ м, час переміщення корпусу печі нагору $t_p \leq 1$ ч, кількість *гідроциліндрів* $z_1 = 6$, робочий тиск у гідроциліндрі $P_{жс} = 10$ Мпа. Будемо вважати, що і один гідроупор здатен переміщати піч нагору, тоді $z_2 = 2$.

Необхідна площа кожного поршня:

$$F_{\eta} = \frac{P_{сд}}{z \cdot P_{жс}} = \frac{0,67 \cdot 10^6}{2 \cdot 10} = 3,35 \cdot 10^4 \text{ мм},$$

а необхідний діаметр

$$D_n = \sqrt{4 \cdot \frac{F_{\eta}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,35 \cdot 10^4}{3,14}} = 206 \text{ мм}.$$

Приймаємо $D_{n.\varnothing} = 250$ мм, тоді необхідна продуктивність змащувальної станції

$$Q = Z_1 \cdot F_{n.\varnothing} \cdot v = \frac{\pi \cdot D_{n.\varnothing} \cdot Z_1 \cdot l_x}{4 \cdot t_p} = \frac{3,14 \cdot 0,25^2 \cdot 6 \cdot 0,07}{4 \cdot 60} = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{мин} = 0,34 \text{ л} / \text{мин}$$

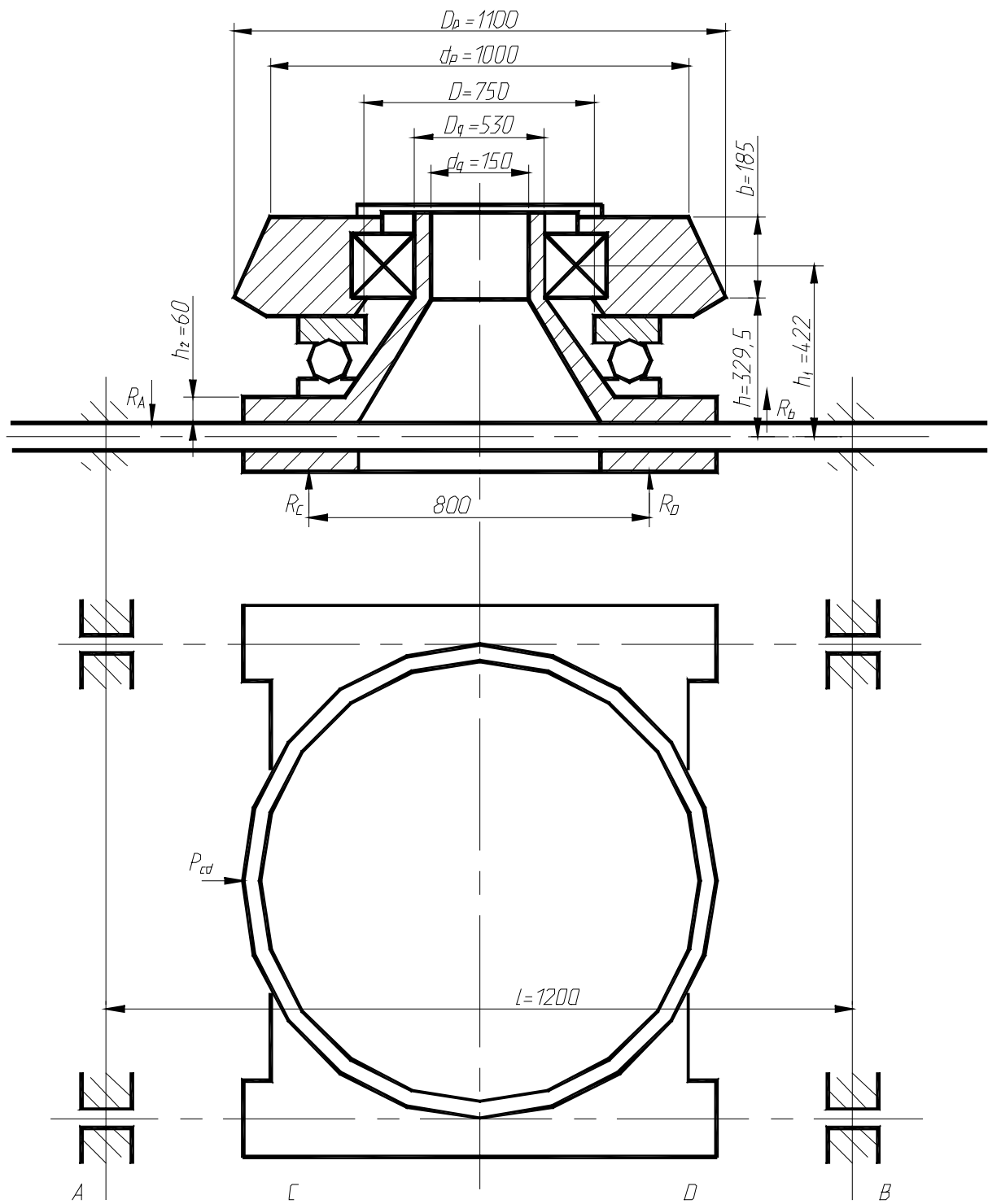


Рис. 5.3. Упорный ролик

5.4.6. Розрахунок відкритої зубчастої передачі

Перевірку міцності робимо по напруженнях згину. При цьому вихідні дані для розрахунку наступні:

модуль передачі $m = 45$;

кількість зубів шестірні $Z_1 = 32$;

кількість зубів колеса $Z_2 = 150$;

передаточне відношення $i_{3.л.}^{\varnothing} = 6,818$;

робоча ширина вінця $b = 800$ мм;

ступінь точності – a ;

матеріал шестерні – сталь 34ХНІМА;

колеса – 35ХМЛ;

твердість шестерні $HB = 240$;

твердість колеса $HB = 200$.

Момент, що крутить, на шестерні:

$$M_1 = 9600 \cdot \frac{N_{з1} \cdot i_p \cdot \eta_{з1}}{n_{дв,з1}} = 9600 \cdot \frac{400 \cdot 26,449 \cdot 0,92}{630} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент, що крутить, на колесі:

$$M_2 = M_1 \cdot i_{3.л.}^{\varnothing} = 1,5 \cdot 10^5 \cdot 6,818 = 10,227 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Частота обертання шестерні:

$$n_{ш} = \frac{n_{з1дв}}{i_p} = \frac{630}{26,449} = 23,82 \text{ об/мин} = 2,49 \text{ рад/сек.}$$

Колова швидкість зачеплення:

$$v_{ш} = \frac{\pi \cdot d_{ш} \cdot n_{ш}}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,045 \cdot 22 \cdot 23,82}{60} = 1,234 \text{ м/с.}$$

Формула перевірного розрахунку для прямозубої циліндричної передачі:

$$\sigma_F = Y_F \cdot k_{\beta} \cdot k_v \cdot \frac{2 \cdot 10^3 \cdot M_1}{m^2 \cdot Z_1 \cdot b} < [\sigma_F]$$

Тут Y_F – коефіцієнт форми зуба, вибирається за графіком $Y_{Fш} = 3,16$ при $Z_1 = 22$ і нульовому коефіцієнті зсуву;

k_{β} – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження по ширині вінця зубчастого колеса $k_{\beta} = 1,08$; при $\psi = \frac{b}{d_{ш}} = \frac{800}{990} = 0,808$ і $HB_k < 350$;

$d_{ш} = m \cdot Z_1 = 45 \cdot 22 = 990 \text{ мм}$; k_v - коефіцієнт динамічного навантаження, при $v < 1 \text{ м/с}$, дев'ятого ступеня точності передача, твердості поверхні колеса $HB < 350$ і шестерні $HB < 350$ $k_v = 1,13$; $[\sigma_F]_{ш}$ - допустиме напруження на згин для зубів, $[\sigma_F]_{ш} = \frac{\sigma_{lim} \cdot k_\alpha \cdot k_\beta}{s} = \frac{140 \cdot 1,1 \cdot 1}{3} = 46,7 \text{ МПа}$, де σ_{lim} - границя витривалості зубів при згині, що відповідає базовому числу циклів навантажень, у відповідності при твердості серцевини $HB_{ш} > 370$, $\sigma_{lim} = 140 \text{ МПа}$, k_l - коефіцієнт, що враховує вплив двостороннього додаткового навантаження на зуби, при однобічній дії $k_l = 1$; k_a - коефіцієнт довговічності, при тривалості роботи передачі понад 5 років безупинної роботи можна прийняти $k_a = 1$; s - коефіцієнт безпеки $s = 2$, для відкритої зубчастої передачі, підданій абразивному зносу, збільшуємо коефіцієнт безпеки приблизно на 50% і приймаємо $s_{ш} = 3$. Після підстановки у формулу перевірного розрахунку отримаємо:

$$\sigma_{F_{ш}} = 3,16 \cdot 1,08 \cdot 1,13 \cdot \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^5}{45^2 \cdot 22 \cdot 800} = 32,46 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{F_{ш}} = 32,46 \text{ МПа} < 46,7 \text{ МПа}$$

Для колеса:

$$\sigma_{F_K} = 3 \cdot 1,08 \cdot 1,13 \cdot \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 10,5 \cdot 10^5}{45^2 \cdot 150 \cdot 800} = 30,7 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{F_K} = 30,7 \text{ МПа} < [\sigma_F]_K = 110 \text{ МПа}$$

Тут $Y_{FK} = 3$; $k_\beta = 1,08$; $k_v = 1,13$; $M_k = M_1 \cdot i = 1,5 \cdot 10^5 \cdot \frac{150}{22} = 10,2 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

$$[\sigma_F]_K = \frac{330 \cdot 1 \cdot 1}{3} = 110 \text{ МПа}; Z_2 = 150; k_a = 1; k_c = 1; s = 2; \sigma_{lim} = 330 \text{ МПа}.$$

Отже, міцність зубів на згин достатня.

5.4.7. Розрахунок корпусу печі

Корпус печі являє собою тонкостінну циліндричну оболонку, що спирається на ряд опор і навантажену з середини розподіленим навантаженням. При розрахунку корпусу печі визначаємо такі напруження (рис. 5.4.): σ_0 – напруження згину (нормальні осьові), як і для звичайної багатоопорної нерозрізної балки кільцевого перетину; σ_{zs} – нормальні осьові уздовж твірної циліндричної оболонки (напруження другого стану); σ_s – кільцеві напруження.

При розрахунку дотичні напруження не беруться в увагу через їх малість. Не враховуються також додаткові напруження, викликані в реальних умовах експлуатації нерівномірною температурою нагрівання корпусу по перетину, скривленням осі корпусу печі, зсувом опорних роликів, осіданням окремих фундаментних опор і інших факторів, вплив яких важко піддається кількісним оцінкам.

Розрахункова схема корпусу печі являє собою багатопрогінну нерозрізну балку на семи опорах, на яку діють розподілені навантаження (від ваги корпусу, футеровки, теплообмінних пристроїв, гартованого матеріалу, обмазування на футеровці в зоні спікання) і зосереджені (від ваги вінцевої шестерні, бандажів та підбандажних стовщень).

Питоме погонне навантаження від ваги корпусу q_k (Н/м) отримуємо з рівняння:

$$q_k = \pi \cdot D_{cp} \cdot \delta \cdot \gamma = 3,14 \cdot 4,8^2 \cdot 0,048 \cdot 77 \cdot 10^3 = 267 \cdot 10^3 \text{ Н/м.}$$

Погонне навантаження від ваги футеровки визначаємо по формулі:

$$q_{\varnothing} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\varnothing} - d_{\varnothing})^2 \cdot \gamma_{\varnothing} = \frac{3,14}{4} \cdot (4,2 - 4,8)^2 \cdot 20600 = 6468,4 \text{ Н/м,}$$

де D_{\varnothing} , d_{\varnothing} - зовнішній і внутрішній діаметри футеровки, м; γ_{\varnothing} - об'ємна вага футеровки, Н/м³;

Погонне навантаження q_{η} від ланцюгової завіси визначається по формулі:

$$q_{\eta} = \frac{g_{\eta} \cdot \sum l_{\eta}}{L_{\eta}} = \frac{22,6 \cdot 61}{29,7} = 46,4 \text{ Н/м,}$$

де g_{η} - вага 1 м ланцюга, Н/м; $\sum l_{\eta}$ - загальна довжина ланцюгів, м; L_{η} - довжина ділянки, займаного ланцюговою завісою, м.

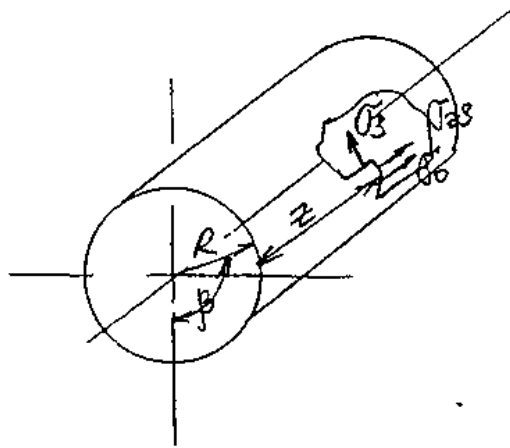


Рис. 5.4. Ескіз навантажень

Погонне навантаження $q_{\text{ц}}$ від ланцюгової завіси визначається по формулі:

$$q_{\text{ц}} = \frac{g_{\text{ц}} \cdot \sum l_{\text{ц}}}{L_{\text{ц}}} = \frac{22,6 \cdot 61}{29,7} = 46,4 \text{ Н/м},$$

де $g_{\text{ц}}$ - вага 1 м ланцюга, Н/м; $\sum l_{\text{ц}}$ - загальна довжина ланцюгів, м; $L_{\text{ц}}$ - довжина ділянки, займаного ланцюговою завісою, м.

Погонне навантаження від ваги матеріалу визначається по формулі:

$$g = G_M / L = 3,95 \cdot 10^6 / 185 = 21,4 \cdot 10^3 \text{ Н/м}.$$

Погонне навантаження від обмазки на футеровці в зоні спікання:

$$q_{\text{обм}} = 0,5 \cdot q_{\text{с}} = \frac{6468,4}{2} = 3234,2 \text{ Н/м}.$$

Далі всі розподілені навантаження підсумовуємо. Отримуємо наступні навантаження:

$$q_0 = \frac{61,8 \cdot 4,6 + 15,4 \cdot 2,9 + 196,6 \cdot 4,5}{12} = 101 \text{ Н/м};$$

$$q_1 = 183 \text{ Н/м};$$

$$q_2 = \frac{185,7 \cdot 7,2 + 123,8 \cdot 20,8}{28} = 139,7 \text{ Н/м};$$

$$q_3 = 117,3 \text{ Н/м};$$

$$q_4 = 118,3 \text{ Н/м};$$

$$q_5 = 172 \text{ Н/м};$$

$$q_6 = 227,3 \text{ Н/м};$$

$$q_7 = \frac{168,7 \cdot 5,6 + 115 \cdot 3,4}{9} = 185,8 \text{ Н/м};$$

$P = 569 \text{ Н}$ – вага підвенцової шестірні

Опорні згинальні моменти від дії зовнішніх навантажень визначаємо, виходячи з рівнянь трьох моментів:

$$M_{n-1} \cdot \frac{l_n}{I_n} + 2 \cdot M_n \cdot \left(\frac{l_n}{I_n} + \frac{l_{n+1}}{I_{n+1}} \right) + M_{n+1} \cdot \frac{l_{n+1}}{I_{n+1}} = -6 \cdot \left(\frac{W_n}{I_n} \cdot \frac{a_n}{l_n} + \frac{W_{n+1}}{I_{n+1}} \cdot \frac{b_{n+1}}{l_{n+1}} \right),$$

де M – згинальний момент опори, $\text{Н}\cdot\text{м}$; l – довжина прольоту, м ; I – момент інерції перетину корпусу печі, м^4 ; W – площа епюри згинальних моментів, м^2 ; a , b – відстані від центра ваги площі епюри до лівої і правої опори, м .

Перераховані величини, узяті з індексом n , відповідають прольоту, розташованому ліворуч від опори, а з індексом $(n+1)$ – праворуч від опори. Для даної печі складаємо $7-2=5$ рівнянь:

$$\begin{aligned} M_0 \cdot \frac{l_1}{I_1} + 2 \cdot M_1 \cdot \left(\frac{l_1}{I_1} + \frac{l_2}{I_2} \right) + M_2 \cdot \frac{l_2}{I_2} &= -6 \cdot \left(\frac{W_1}{I_1} \cdot \frac{a_1}{l_1} + \frac{W_2}{I_2} \cdot \frac{b_2}{l_2} \right); \\ M_1 \cdot \frac{l_2}{I_2} + 2 \cdot M_2 \cdot \left(\frac{l_2}{I_2} + \frac{l_3}{I_3} \right) + M_3 \cdot \frac{l_3}{I_3} &= -6 \cdot \left(\frac{W_2}{I_2} \cdot \frac{a_2}{l_2} + \frac{W_3}{I_3} \cdot \frac{b_3}{l_3} \right); \\ M_2 \cdot \frac{l_3}{I_3} + 2 \cdot M_3 \cdot \left(\frac{l_3}{I_3} + \frac{l_4}{I_4} \right) + M_4 \cdot \frac{l_4}{I_4} &= -6 \cdot \left(\frac{W_3}{I_3} \cdot \frac{a_3}{l_3} + \frac{W_4}{I_4} \cdot \frac{b_4}{l_4} \right); \\ M_3 \cdot \frac{l_4}{I_4} + 2 \cdot M_4 \cdot \left(\frac{l_4}{I_4} + \frac{l_5}{I_5} \right) + M_5 \cdot \frac{l_5}{I_5} &= -6 \cdot \left(\frac{W_4}{I_4} \cdot \frac{a_4}{l_4} + \frac{W_5}{I_5} \cdot \frac{b_5}{l_5} \right); \\ M_4 \cdot \frac{l_5}{I_5} + 2 \cdot M_5 \cdot \left(\frac{l_5}{I_5} + \frac{l_6}{I_6} \right) + M_6 \cdot \frac{l_6}{I_6} &= -6 \cdot \left(\frac{W_5}{I_5} \cdot \frac{a_5}{l_5} + \frac{W_6}{I_6} \cdot \frac{b_6}{l_6} \right); \end{aligned}$$

Тому що завантажувальний і розвантажувальний кінці корпусу є консольними, згинальні моменти на першій і останній опорах одержуємо в такий спосіб:

$$\begin{aligned} M_0 &= \frac{q_0 \cdot l_0^2}{2} = \frac{101 \cdot 12^2}{2} = 7171 \text{ Н}\cdot\text{м}; \\ M_6 &= \frac{q_7 \cdot l_7^2}{2} = \frac{185,8 \cdot 9^2}{2} = 7525 \text{ Н}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

Невідомі моменти знаходимо, вирішуючи системи, що складаються з двох рівнянь послідовно:

Знайдемо площу епюри згинальних моментів:

$$W_0 = \frac{d \cdot l_0^3}{12} = \frac{4,8 \cdot 12^3}{12} = 691,2 \text{ м}^2;$$

$$W_1 = \frac{d \cdot l_1^3}{12} = \frac{4,8 \cdot 28^3}{12} = 8780,8 \text{ м}^2;$$

$$W_2 = \frac{d \cdot l_2^3}{12} = \frac{4,8 \cdot 28^3}{12} = 8780,8 \text{ м}^2;$$

$$W_3 = \frac{d \cdot l_3^3}{12} = \frac{4,8 \cdot 26^3}{12} = 7030,4 \text{ м}^2;$$

$$W_4 = \frac{d \cdot l_4^3}{12} = \frac{4,8 \cdot 30^3}{12} = 10800 \text{ м}^2;$$

$$W_5 = \frac{d \cdot l_5^3}{12} = \frac{4,8 \cdot 26^3}{12} = 7030,4 \text{ м}^2;$$

$$W_6 = \frac{d \cdot l_6^3}{12} = \frac{4,8 \cdot 26^3}{12} = 7030,4 \text{ м}^2;$$

Момент інерції перетину корпусу дорівнює:

$$I = \frac{\pi \cdot d^3}{12} = \frac{3,14 \cdot 4,8^3}{12} = 34 \text{ м}^3.$$

Знайдемо відстані від центру ваги площ епюр до опор:

$$a_0 = b_0 = \frac{l_0}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ м};$$

$$a_1 = b_1 = \frac{l_1}{2} = \frac{28}{2} = 14 \text{ м};$$

$$a_2 = b_2 = \frac{l_2}{2} = \frac{28}{2} = 14 \text{ м};$$

$$a_3 = b_3 = \frac{l_3}{2} = \frac{26}{2} = 13 \text{ м};$$

$$a_4 = b_4 = \frac{l_4}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ м};$$

$$a_5 = b_5 = \frac{l_5}{2} = \frac{26}{2} = 13 \text{ м};$$

$$a_6 = b_6 = \frac{l_6}{2} = \frac{26}{2} = 13 \text{ м}.$$

Знаходимо значення опорних згинальних моментів M_1 і M_2 , вирішуючи систему двох рівнянь:

$$7171 \cdot \frac{28}{34} + 2 \cdot M_1 \cdot \left(\frac{28}{34} + \frac{28}{34} \right) + M_2 \cdot \frac{28}{34} = -6 \cdot \left(\frac{8780,8}{34} \cdot \frac{14}{28} + \frac{8780,8}{34} \cdot \frac{14}{28} \right);$$

$$M_1 \cdot \frac{28}{34} + 2 \cdot M_2 \cdot \left(\frac{28}{34} + \frac{26}{34} \right) + M_3 \cdot \frac{26}{34} = 6 \cdot \left(\frac{8780,8}{34} \cdot \frac{14}{28} + \frac{7030,4}{34} \cdot \frac{13}{26} \right);$$

Виразимо M_1 з першого рівняння:

$$M_1 = \frac{6 \cdot \left(\frac{8780,4 \cdot 14}{34 \cdot 28} + \frac{8780,4 \cdot 14}{34 \cdot 28} \right) - 7171 \cdot \frac{28}{34} - M_2 \cdot \frac{28}{34}}{2 \cdot \left(\frac{28}{34} + \frac{28}{34} \right)} = \frac{52461,3 - 0,82 M_2}{3,29}$$

Підставивши M_1 у друге рівняння, отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{(52461,3 - 0,82 \cdot M_2)}{3,29} \cdot \frac{28}{34} - 2 \cdot M_2 \cdot \left(\frac{28}{34} + \frac{26}{34} \right) + 8937 \cdot \frac{26}{34} &= -6 \cdot \left(\frac{8780,8 \cdot 14}{34 \cdot 28} + \frac{7030,4 \cdot 13}{34 \cdot 26} \right); \\ 0,25 \cdot (52461,3 - 0,82 \cdot M_2) - 3,18 \cdot M_2 - 6834,2 &= -13566; \\ -2,975 \cdot M_2 &= -13566 - 6281; \\ M_2 &= \frac{-19847}{-2,975} = 6671 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Отже,

$$M_1 = \frac{52461,3 - 0,82 \cdot 6671}{3,29} = 14283 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вирішуємо систему рівнянь, що складає з другого і третього рівняння:

$$\begin{aligned} 14283 \cdot \frac{28}{34} + 2 \cdot 6671 \cdot \left(\frac{28}{34} + \frac{26}{34} \right) + M_3 \cdot \frac{26}{34} &= -6 \cdot \left(\frac{8780,8 \cdot 14}{34 \cdot 28} + \frac{7030,4 \cdot 13}{34 \cdot 26} \right); \\ 6671 \cdot \frac{26}{34} + 2 \cdot M_3 \cdot \left(\frac{26}{34} + \frac{30}{34} \right) + M_4 \cdot \frac{30}{34} &= -6 \cdot \left(\frac{7030,4 \cdot 13}{34 \cdot 26} + \frac{10800 \cdot 15}{34 \cdot 30} \right). \end{aligned}$$

Виразимо M_3 з другого рівняння:

$$\begin{aligned} -11762,5 - 21190 + 0,76 \cdot M_3 &= -6 \cdot 4360; \\ 0,76 \cdot M_3 &= -26160,38 + 32952,5; \\ M_3 &= \frac{6791,12}{0,76} = 8937 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Отже:

$$\begin{aligned} 5101 - 29439,5 + 0,88 \cdot M_4 &= -6 \cdot 4582,7; \\ 0,88 \cdot M_4 &= -27496 + 34540,5; \\ M_4 &= \frac{7044,5}{0,88} = 8005 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Знаходимо M_5 , вирішуючи систему рівнянь, що складається з четвертого і п'ятого рівнянь:

$$\begin{aligned} 8937 \cdot \frac{30}{34} + 2 \cdot 8005 \cdot \left(\frac{30}{34} + \frac{26}{34} \right) + M_5 \cdot \frac{26}{34} &= -6 \cdot \left(\frac{10800 \cdot 15}{34 \cdot 30} + \frac{7030,4 \cdot 13}{34 \cdot 26} \right); \\ 8005 + 2 \cdot M_5 \cdot \left(\frac{26}{34} + \frac{26}{34} \right) + 7525 \cdot \frac{26}{34} &= -6 \cdot \left(\frac{7030,4 \cdot 13}{34 \cdot 26} + \frac{7030,4 \cdot 13}{34 \cdot 26} \right). \end{aligned}$$

Розглядаємо четверте рівняння:

$$\begin{aligned} 7885,6 - 26369,4 + 0,76 \cdot M_5 &= -6 \cdot 3841,6; \\ -34255 + 0,76 \cdot M_5 &= -23049,6; \\ M_5 &= \frac{-23049,6 + 34255}{0,76} = 14744 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Знаходимо реакції в кожному прольоті. Для прольоту l_1 сума моментів щодо опори 1:

$$-M_0 + R_1'' \cdot l_1 - \frac{q_1 \cdot l_1}{2} + M_1 = 0,$$

Звідси ліва реакція:

$$R_1'' = \frac{M_0 - M_1}{l_1} + \frac{q_1 l_1}{2} = \frac{14283 - 7171}{28} + \frac{183 \cdot 28}{2} = 2816 \text{ Н}.$$

Сума моментів щодо опори 0:

$$M_1 + \frac{q_1 l_1}{2} - M_0 - R_2' \cdot l_1 = 0;$$

Звідки права реакція:

$$R_2' = \frac{M_2 - M_0}{l_1} + \frac{q_1 l_1}{2} = \frac{7171 - 14283}{28} + \frac{183 \cdot 28}{2} = 2308 \text{ Н}.$$

Сума цих реакцій дорівнює зовнішньому навантаженню в прольоті

$$R_1'' + R_2' = q_1 \cdot l.$$

$$2816 + 2308 = 183 \cdot 28 = 5124.$$

Загальний тиск на опору 0:

$$R_0 = R_1'' + q_0 \cdot l_0 + F_1 = 2816 + 101 \cdot 12 + 10,5 = 3973 \text{ кН}.$$

Для прольоту l_2 сума моментів щодо опори 2 визначається рівністю:

$$M_2 + R_3' \cdot l_2 + \frac{q_2 \cdot l_2^2}{2} - M_1 + P \cdot a_3' = 0,$$

звідки

$$R_3'' = \frac{M_2 - M_1}{l_2} + \frac{q_2 l_2}{2} + \frac{P \cdot a_3'}{l_2} = \frac{6671 - 14283}{28} + \frac{123,8 \cdot 28}{2} + \frac{569 \cdot 21,5}{28} = 1898 \text{ Н}.$$

Суму моментів щодо опори 3 одержимо з рівності:

$$-M_1 + R_2'' \cdot l_2 - \frac{q_2 \cdot l_2^2}{2} + M_2 - P \cdot b_3' = 0,$$

звідки

$$R_2'' = \frac{M_1 - M_2}{l_2} + \frac{q_2 l_2}{2} + \frac{P \cdot b_3'}{l_2} = \frac{14283 - 6671}{28} + \frac{123,8 \cdot 28}{2} + \frac{569 \cdot 4,5}{28} = 1914 \text{ Н}.$$

Загальний тиск на опору 1:

$$R_1 = R_2' + R_2'' + F_2 = 2308 + 1914 + 530000 = 5202 \text{ кН}.$$

Аналогічно розраховуємо опорні реакції на інші опори:

$$R_2 = 3035 \text{ кН};$$

$$R_3 = 3901 \text{ кН};$$

$$R_4 = 3740 \text{ кН};$$

$$R_5 = 5707 \text{ кН};$$

$$R_6 = 4219 \text{ кН}.$$

Для визначення напружень згину будемо епюри моментів і сил, що перерізують, (рис. 5.5).

Значення сил, що перерізують, знаходимо з рівняння:

$$Q_x = \frac{dM_x}{dx}.$$

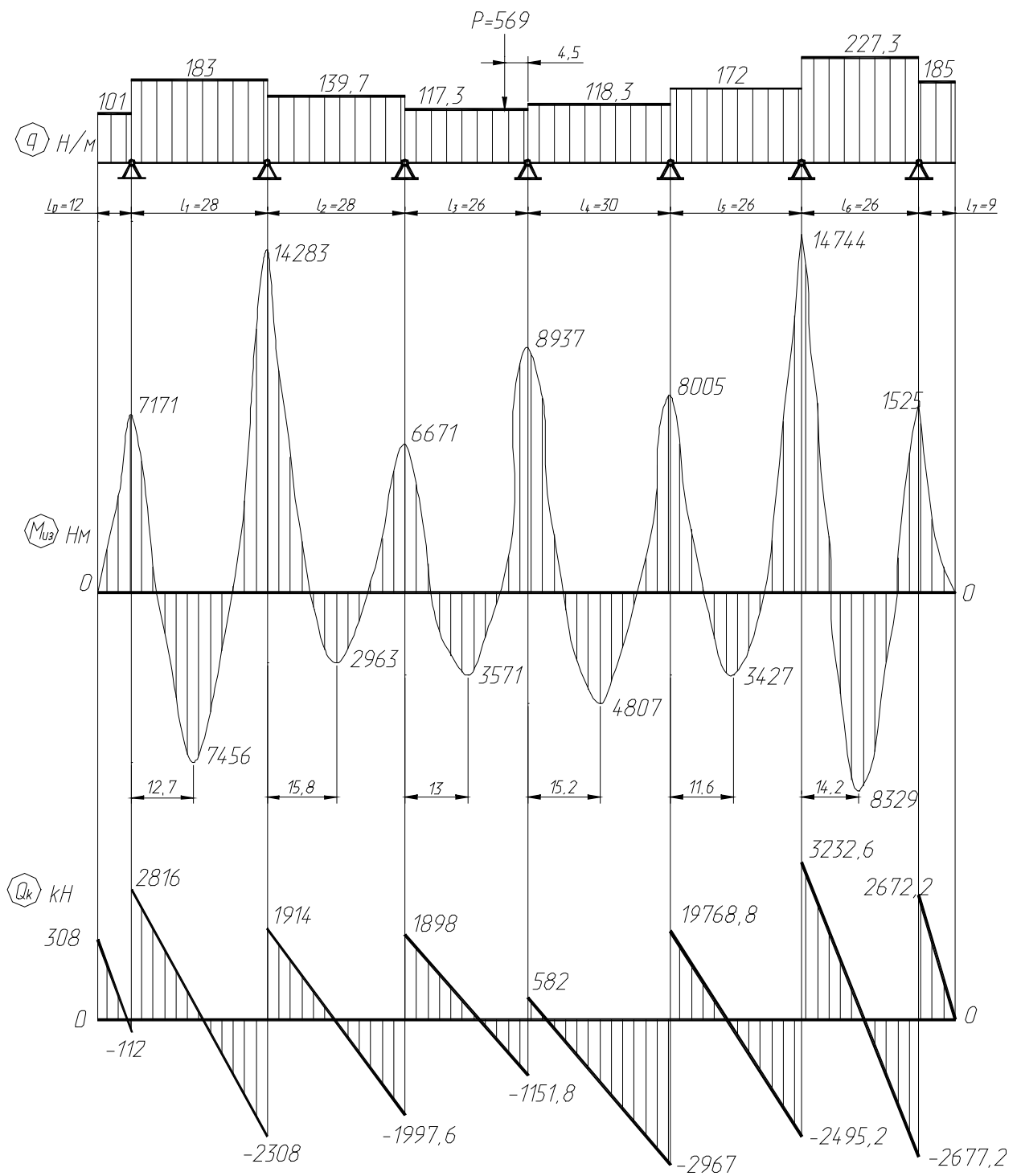


Рис. 5.5. Схема навантажень, епюра моментів та перерізаючих сил печі

Для прольоту l_0 :

$$M_x = M_1 + R_2' \cdot x - \frac{q_1 \cdot x}{2}.$$

$$Q_{x=0} = R_2' - q_1 \cdot x = 2308 - 183 \cdot 0 = 2308 \text{ кН}$$

$$Q_{x=a} = R_2' - q_1 \cdot a = 2308 - 183 \cdot 12 = -112 \text{ кН}$$

Для прольоту l_1 :

$$M_x = M_0 + R_1'' \cdot x - \frac{q_1 \cdot x}{2}.$$

$$Q_{x=0} = R_1'' - q_1 \cdot x = 2816 - 183 \cdot 0 = 2816 \text{ кН}$$

$$Q_{x=a} = 2816 - 183 \cdot 28 = -2308 \text{ кН}$$

Для прольоту l_2 :

$$M_x = -M_1 + R_2'' \cdot x - \frac{q_2 \cdot x}{2}.$$

$$Q_{x=0} = R_2'' - q_2 \cdot x = 1914 - 139,7 \cdot 0 = 1914 \text{ кН}$$

$$Q_{x=a} = 1914 - 139,7 \cdot 28 = -1997,16 \text{ кН}$$

Для прольоту l_3 :

$$M_x = -M_2 + R_3'' \cdot x - \frac{q_3 \cdot x}{2} - P \cdot x$$

$$Q_{x=0} = R_3'' - q_3 \cdot x - P = 1898 - 117,3 \cdot 0 - 569 = 1329 \text{ кН}$$

$$Q_{x=a} = 1898 - 117,3 \cdot 26 - 569 = -1720,8 \text{ кН}$$

Для прольоту l_4 :

$$M_x = -M_4 + R_4'' \cdot x - \frac{q_4 \cdot x}{2} + P \cdot x$$

$$Q_{x=0} = R_4'' - q_4 \cdot x + P = 1151 - 0 + 569 = 1720 \text{ кН}$$

$$Q_{x=a} = 1151 - 118,3 \cdot 30 + 569 = -1829 \text{ кН}$$

Для прольоту l_5 :

$$M_x = -M_4 + R_5'' \cdot x - \frac{q_5 \cdot x}{2}$$

$$Q_{x=0} = R_5'' - q_5 \cdot x = 1976,8 - 172 \cdot 0 = 1976,8 \text{ кН}$$

$$Q_{x=a} = 1976,8 - 172 \cdot 26 = -2495,2 \text{ кН}$$

Для прольоту l_6 :

$$M_x = -M_5 + R_6'' \cdot x - \frac{q_6 \cdot x}{2}$$

$$Q_{x=0} = R_6'' - q_6 \cdot x = 3232,6 - 227,3 \cdot 0 = 3232,6 \text{ кН}$$

$$Q_{x=a} = 3232,6 - 227,3 \cdot 26 = -2677,2 \text{ кН}$$

Для прольоту l_7 :

$$M_x = -M_6 + R_7'' \cdot x - \frac{q_6 \cdot x^2}{2}$$

$$Q_{x=0} = R_7'' - q_6 \cdot x = 2677,2 - 227,3 \cdot 0 = 2677,2 \text{ кН}$$

$$Q_{x=l} = 0$$

Як уже відзначалося, на оболонку корпусу печі діє три види напружень:

$$\sigma_{zs} = \frac{16 \cdot l^2 \cdot q}{\pi \cdot R^2 \cdot \delta} \cdot \left[\frac{1,332 \cdot \cos 2\beta}{\pi^4 + 12 \cdot \frac{\delta^2 l^4}{R^6}} - \frac{1,0672 \cdot \cos 4\beta}{\pi^4 + 4800 \cdot \frac{\delta^2 l^4}{R^6}} \right] \cdot \frac{\sin \pi \cdot z}{l};$$

$$\sigma_s = \frac{8 \cdot l^4 \cdot q}{\pi^3 \cdot R^5} \cdot \left[\frac{15,984 \cdot \cos 2\beta}{\pi^4 + 12 \cdot \frac{\delta^2 l^4}{R^6}} - \frac{256,128 \cdot \cos 4\beta}{\pi^4 + 4800 \cdot \frac{\delta^2 l^4}{R^6}} \right] \cdot \frac{\sin \pi \cdot z}{l};$$

$$\sigma_0 = \frac{M_{\max}}{W_c} \cdot \cos \beta,$$

де σ_{zs} – нормальна осьова напруга уздовж корпусу;

σ_s – нормальна кільцева напруга від поперечного згинаючого моменту;

σ_0 – нормальна балкова напруга;

q_0 – погонне навантаження; l – довжина прольоту;

R – середній радіус обичайки = 4,8 м;

M_{\max} – максимальний згинальний момент у прольоті;

$W_c = \pi \cdot R^2 \cdot \delta = 3,14 \cdot 4,8^2 \cdot 0,02 = 1,4 \text{ м}^3$ – момент опору корпусу;

z, β – відповідно поточні лінійні і кутові координати. Максимальні витрати знаходяться в крапках при $\beta = 0^\circ$; $\beta = \pi$ у середині прольоту ($z = l/2$).

Значення цих напружень зводимо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3.

Напруження, Мпа	Прольоти					
	1	2	3	4	5	6
σ_{zs}	42,8	29,0	25,0	29,6	24,3	26,7
σ_s	32,6	22,0	14,85	-26,0	-21,1	-26,2
σ_0	12,5	4,98	7,2	8,09	4,3	10,4

Виходячи з енергетичної теорії міцності приведені напруги:

$$\sigma_{пр} = \sqrt{(\sigma_{zs} + \sigma_0)^2 + \sigma_s^2 - (\sigma_{zs} + \sigma_0) \cdot \sigma_s}.$$

$$1 \text{ прольот: } \sigma_{np1} = \sqrt{(42,8 + 12,5)^2 + 32,6^2 - (42,8 + 12,5) \cdot 32,6} = 76,7 \text{ МПа};$$

$$2 \text{ прольот: } \sigma_{np2} = \sqrt{(29 + 4,98)^2 + 22^2 - (29 + 4,98) \cdot 22} = 48,4 \text{ МПа};$$

$$3 \text{ прольот: } \sigma_{np3} = \sqrt{(25 + 7,2)^2 + 14,85^2 - (25 + 7,2) \cdot 14,85} = 41,7 \text{ МПа};$$

$$4 \text{ прольот: } \sigma_{np4} = \sqrt{(29,6 + 8,09)^2 + (-26)^2 + (29,6 + 8,09) \cdot 26} = 55,5 \text{ МПа};$$

$$5 \text{ прольот: } \sigma_{np5} = \sqrt{(24,3 + 4,3)^2 + (-21,1)^2 + (24,3 + 4,3) \cdot 21,1} = 39,7 \text{ МПа};$$

$$6 \text{ прольот: } \sigma_{np6} = \sqrt{(26,7 + 10,4)^2 + (-26,2)^2 + (26,7 + 10,4) \cdot 26,2} = 54,8 \text{ МПа};$$

Напруження, що допускається:

$$[\sigma] = \frac{0,435 \cdot \sigma_{сп}}{n_3} = \frac{0,435 \cdot 785}{3} = 113 \text{ МПа},$$

де $\sigma_{вр} = 785 \text{ МПа}$ – напруження, що допускається, для сталі 20ХГСА; $n_3 = 3$ - запас міцності.

Тому що всі приведені напруження допуску менші: $[\sigma] > \sigma_{npn}$, отже, міцність корпусу печі забезпечена.

6. МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ

Під час експлуатації обертової печі виникають великі напруження, в результаті яких, наряду з високими температурами, опорні вузли деформуються та зношуються. Ремонт обертової печі річ дуже клопітка та складна.

Поточний ремонт обертової печі можливо, та й навіть варто, здійснювати у русі, через складність запуску та великі затрати під час простою. Коли машину зупиняють, а це роблять зазвичай не менше ніж на 3 доби, підприємство втрачає повністю лінію виробництва, внаслідок цього і прибуток. Для здійснення ремонту обертової печі передбачено додаткові двигуни з приводом, що обертають піч з дуже низькою швидкістю.

Капітальний ремонт виконують тільки під час повної зупинки печі, та після її вистигання. Під час капітального ремонту виконують максимальну кількість ремонтних робіт для запобігання повторної зупинки печі найближчим часом.

Розділом монтаж і експлуатація передбачено опис технології збирання основного редуктора обертової печі:

- креслення складальної одиниці;
- подетальна специфікація;
- схема збирання.

Також виконано технологію монтажу обертової печі 5x185 м, яку показано на відповідних картах ескізів, та схему її змащування.

Таблиця 6.1. Таблиця змащення

№ з/п	Місце змащування	Кількість точок змащування	Вид мастила	Метод змащення	Періодичність змащування
1	Підшипник ролика	14	П 28 (рідке циркуляційне)	подача мастила	1-2 л/хв
2	Вінцева шестерня, підвінцева шестерня	2	ТАТ 17	обмащення	2 рази/зміну
3	Редуктор	2	АІ 40 (індустріальне)	заливка	1 раз/рік
4	Підшипник редуктора	2	АІ 40	оприскування	1 раз/рік
5	Підшипник електродвигуна	2	УС 20	набивка	1 раз/6 міс.
6	Редуктор допоміжного приводу	2	АІ 40	заливка	1 раз/рік
7	Підшипник допоміжного приводу	2	УС 20	набивка	1 раз/6 міс.

7. СТАРТАП-ПРОЕКТ

7.1. Опис ідеї проекту

Основна суть ідеї полягає в модернізації опори обертової печі таким чином, що витрати і складність модернізації є достатньо малими та призведуть до більш економного використання та зменшення витрат на обслуговування.

Таблиця 7.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Зміст ідеї полягає в зміні конструкції опори, а саме, збільшення строку служби цілої машини	Виробництво цементу	1. Спрощення конструкції вузла. 2. Збільшення терміну експлуатації машини. 3. Зменшення шуму на виробництві.

		4. Попередження деформації деталей печі.
--	--	--

Обертова піч використовується для виробництва цегли та є одним із основних елементів лінії. Велика кількість підприємств спрямована на збільшення ефективності роботи даної машини.

Конкурент 1 – монтаж демпфуючої подушки під фундаментними плитами опорних роликів.

Конкурент 2 – зменшення елементів вузла існуючої машини.

Конкурент 3 – розробка заходів які зменшують навантаження та вібрації на опори.

Таблиця 7.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
Економічні	Зменшення вартості обслуговування та ремонту	Вартість вузла не змінено, вартість ремонту не змінено	Збільшення вартості ремонту, вартість елементів вузла зменшено	Збільшення вартості ремонту, вартість елементів вузла збільшено	Дороговизна заміни вузла на існуючому виробництві	Відносно недорогий заповнювач еластичної частини	Невелика вартість обслуговування та ремонту
Технічні	Самовстановлення, один вектор	Не змінено	Не змінено	Складність конструкції	Складність конструкції	Зменшено вузли, які сприймають основні наванта-	Самовстановлення, один вектор

	наванта- ження					ження	наванта- ження
Надійності	Збільшен- ня терміну експлуа- тації	Збільшен- ня терміну експлуа- тації	Відносно невеликий термін експлуа- тації	Великий термін експлуа- тації		Великий термін експлуа- тації	Без- відмов- ність, ремонт- придат- ність
Безпеки	Змен- шення шуму при експлуа- тації	Змен- шення шуму при експлуа- тації	Середній рівень шуму	Середній рівень шуму			Змен- шення шуму при експлуа- тації

Таким чином, можемо зробити висновок, що ідея є конкуренто-спроможною через наявність широкого спектру позитивних якостей.

7.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Ідея є повністю технологічно здійсненою але має достатньо високу вартість впровадження.

Таблиця 7.3. Технологічна здійсненність проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Модернізація опори	Розбирання частини фундаменту, встановлення готового вузла	Наявність стандартних деталей вузла	Доступна повністю
Обрана технологія реалізації ідеї проекту – розбирання частини фундаменту, встановлення готового вузла.			

Згідно результатів таблиці можемо зробити висновок, що технологія є абсолютно здійсненою та відносно простою у втіленні.

7.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 7.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ з/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	10
2	Загальний обсяг продаж, т	6 333 900
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	37,3

Розрахунок техніко-економічних показників підприємства

Рентабельність продукції розраховуємо по формулі:

$$P_n = (P_o - C_n) / C_n \cdot 100,$$

де P_o – оптова ціна продукції (для даної продукції $P_o = 2270,0$ грн./т)

C_n – повна собівартість продукції = 10 469 936 700 грн

Собівартість однієї цеглини - $C_n / 6333900 = 1653$ грн./т

$$P_n = (2270 - 1653) / 1653 \cdot 100 = 37,3\%$$

За результатами таблиці можемо визначити, що ринок є привабливим для входження.

Таблиця 7.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Збільшення	Виробництва	Дана	Модернізація

строку експлуатації	цементу	модернізація застосовується для машини, яка використовується на всіх виробництвах даної галузі	повністю задовольняє вимоги споживачів
---------------------	---------	--	--

Аналіз ринкового середовища

Таблиця 7.6. Фактори загроз

№ з/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Економічна нестабільність підприємства	Підприємство має недостатньо коштів для впровадження модернізації, або це не є першочерговим призначенням цільових коштів виробництва	Відмова від модернізації, перегляд призначення цільових коштів (малоймовірна)
2	Низька кваліфікація робітників	Відсутність достатньо кваліфікованих робітників для впровадження модернізації,	Відмова від модернізації, підвищення кваліфікації, зміна/набір кваліфікованого

		виникає потреба в залученні додаткових коштів.	персоналу, залучення сторонніх компаній для впровадження модернізації
--	--	--	---

Таблиця 7.7. Фактори можливостей

№ з/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Простота модернізації	Складність модернізації невисока та стає можливою за наявності кваліфікованого персоналу	Впровадження модернізації
2	Економічна вигода	Впровадження модернізації не є найдешевшим варіантом, але враховуючи подальшу експлуатацію дозволяє мінімізувати витрати на обслуговування	Впровадження модернізації

		машини	
3	Безпека	Побічна суть модернізації – зменшення шуму, що позитивно вплине на умови праці робітників	Впровадження модернізації

Аналіз пропозиції

Таблиця 7.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Модернізація враховує всі фактори супутніх конкурентів та вирізняється параметрами, потрібними, але не нагальними.	Розробка конкурентоспроможної модернізації схожого типу.
2. Національна конкурентна боротьба	Модернізація застосовується для лінії виробництва, що обов'язково застосовується при виготовленні цементу	Пропозиція аналогу схеми виробництва/ заміна окремих елементів схеми на більш ефективні
3. Внутрішньогалузева	Застосування тільки	Розробка проекту для

	для окремого виду виробництва	збільшення продуктивності лінії
4. Товарно-видова	Застосовується тільки для цементу	Розробка модернізації для всіх товарів роду
5. Нецінова	Полягає у збільшенні строку експлуатації	Розробка проекту для збільшення продуктивності
6. Не марочна	Модернізація одноразова для кожної машини	

Аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 7.9. Аналіз конкуренції в галузі

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	ПАТ «Подільський цемент», ПАТ «Миколаївцемент», ТОВ «Цемент», ПАТ «ЄВРОЦЕМЕНТ-УКРАЇНА», ПАТ «Волинь-Цемент»	Ринок має невелику кількість виробників (понад 10), велика кількість з сучасним обладнанням	Основні матеріали є природними матеріалами, які добуваються з кар'єрів, що відносяться до виробництва	Клієнти мають досить серйозний вплив на якість продукції	Товарів замінників немає
Висновки :	Конкурентна боротьба в галузі є достатньо інтенсивною через	Можливості входу в ринок безумовно	Постачальники не мають особливого впливу на	Клієнти мають вплив	Обмеження відсутні через особливості

	великі потужності та попит.	існують, так як є великий попит на продукцію.	ринок	на якість продукції	ь продукції
--	-----------------------------	---	-------	---------------------	-------------

Як висновок, дана модифікація зменшить витрати на виробництві, що дасть змогу збільшити прибуток за рахунок зменшення витрат, або зменшення ціни на товар за рахунок цієї суми. За допомогою останнього, можна збільшити кількість клієнтів без втрати якості продукції.

Перелік факторів конкурентоспроможності

Табл. 7.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ з/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Підвищення строку експлуатації	Обумовлений значним збільшенням терміну експлуатації машини та її робочого органу, що значно зменшує витрати на обслуговування та ремонт, збільшує період виходу з ладу машини, тим самим даючи майже повну безперервність роботи лінії.
2	Підвищення безпеки на виробництві	За рахунок зменшення шуму на виробництві зменшує витрати на надбавку робітникам за небезпечні умови праці, підвищує комфорт роботи за установкою

Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

Таблиця 7.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін модернізації

№ з/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ПАТ «Волинь- Цемент»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Підвищення строку експлуатації	10						+	
2	Підвищення безпеки на виробництві	10					+		

Складання SWOT-аналізу

Таблиця 7.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: зменшення витрат на виробництві та ризиків	Слабкі сторони: Дороговизна
Можливості: збільшення прибутку, зменшення цін на ринку	Загрози: ринкова

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Таблиця 7.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ з/п	Альтернатива	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Залучення зацікавлених підприємств	Висока	до 3 міс.
2	Залучення спеціальних фондів	Середня	до 6 міс.
3	Залучення великих клієнтів виробництв	Низька	до 1 міс.

4	Збір коштів через інтернет-ресурси	Середня	від 12 міс.
---	------------------------------------	---------	-------------

Найімовірнішою альтернативою є залучення зацікавлених підприємств, найшвидшою, але в той самий час найменш ймовірною є залучення клієнтів-замовників будівництв.

7.4. Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Таблиця 7.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ з/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Виробництва цементу	Готові	Вище середнього	Низька	Просто
Обрано виробництва цементу як цільову групу потенційних клієнтів					

Таблиця 7.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ з/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Залучення зацікавлених підприємств	Пошук клієнтів на ринку, пропозиції	Суть ідеї проекту	Стратегія спеціалізації з опором на диференціацію

		щодо вдосконалення лінії		
--	--	--------------------------------	--	--

Таблиця 7.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ з/п	Чи є проект першопрохідцем на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Так	Ні	Стратегія наслідування лідеру

Таблиця 7.17. Визначення стратегії позиціонування

№ з/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто- спроможні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Якість, відповідність	Стратегія	Підвищення	Збільшення

	очікуваням	спеціалізації з опором на диференціацію	рівня якості виробництва, збільшення прибутку	прибутку, зменшення витрат, якість виробництва
--	------------	---	--	---

Компанія буде досить помірно розвиватися, не використовуючи агресивні методи конкуренції та не «переходячи дорогу» великим компаніям- аналогам.

7.5. Розроблення маркетингової програми проекту

Таблиця 7.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ з/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Збільшення прибутку	Зменшення витрат	Унікальність конструкції
2	Якість роботи	Зменшення витрат	Підвищення рівня безпеки

Таблиця 7.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Ідея полягає в модернізації опори обертової печі, що призведе до збільшення строку експлуатації, підвищення комфорту робітників		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Збільшення міцності		
	2. Зменшення рівня шуму		
	3. Спрощення конструкції		
	Якість відповідно до ДСТУ		
	Пакування відсутнє, надаватиметься послуга		
	-		
III. Товар з підкріпленням			
Товар буде захищено від копіювання за рахунок патентування			

Таблиця 7.20. Визначення меж встановлення ціни

№ з/п	Рівень цін на товари-замінники, грн/од	Рівень цін на товари-аналоги, грн/од.	Рівень доходів цільової групи споживачів, грн/рік	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу грн/од.
1	150 000...4 000 000	800 000	10 000 000 000	600 000...800 000

Таблиця 7.21. Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Модернізація всього заводу	Модернізація обладнання, обслуговування, ремонт, гарантія, навчання персоналу	Київська обл., Житомирська обл.	Власна

Глибину каналу збуту обрано у зв'язку з розташуванням великої кількості великих та малих підприємств цільового ринку та ринку матеріалів.

Оптимальну систему збуту обрано власну через можливість незаконного копіювання ідеї компаній-посередників та високу вартість обслуговуючих компаній, значно ефективніше буде виконувати послуги власними силами з залученням додаткових коштів для майбутнього розширення компанії.

Таблиця 7.22. Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Модернізація всього заводу	Інтернет, телефон, соц. мережі	Збільшення прибутку, зменшення витрат, якість виробництва	Акцент на головних інженерів виробництв силікатної цегли	Збільшення терміну експлуатації, підвищення якості праці

Висновки

Даним стартап-проектом проаналізовано ринок та можливості входу на нього, компанії-лідери виробництва та конкуренти – існуючі та потенційні.

Ринкова комерціалізація цілком можлива але не є на 100% доцільною. Існують більш важливі ідеї для впровадження, які не є конкурентами даної ідеї, але відносять її на другий план.

Перспектива впровадження існує в повному обсязі, клієнти зацікавлені в зменшенні витрат, бар'єри існують, але модернізація не має абсолютних аналогів. Конкуренція середня, проект достатньо конкурентоспроможний порівняно з аналогами.

Доцільно обрати варіант залучення коштів зацікавлених підприємств, що є достатньо вірогідним та швидким.

Подальшу імплементацію проекту вважаю доцільною.

8. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці та навколишнього середовища вивчає у собі питання попередження травматизму, безпеки праці й професійних захворювань; питання вибухів і пожеж на виробництві та правової охорони праці. Також з охороною праці пов'язані і такі питання як пожежної безпеки в електроустановках. Електричні станції та мережі оснащені сучасною технікою, в основну частину якої - закладено принципи охорони праці. Безпечні конструкції електричних елементів машин, механізмів та інших пристроїв мають попередити шкоду здоров'ю та забезпечити безпечний рівень праці для обслуговуючого персоналу.

Даним проектом розглядаються питання охорони праці й техніки безпеки для цементного заводу, який обслуговує проектувану обертову піч 5×185 м.

Нижче було розглянуто такий перелік небезпечних та шкідливих виробничих факторів як:

- підвищений виробничий шум, вібрація;
- забруднення повітря робочої зони;
- рухомі частини обертової печі й ті, що обертаються;
- небезпека враження електричним струмом;
- пожежна безпека;
- розрахунок існуючого штучного освітлення;
- охорона навколишнього середовища.

8.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів обертової печі

8.1.1. Повітря робочої зони

Робота оператора, що обслуговує обертову піч відноситься до категорії легких фізичних робіт згідно ГОСТ 12.1.005-88 з відповідними енерговитратами в 630 кДж/год.

Шкідливі речовини які попадають в організм можуть викликати серйозні отруєння. Важкість отруєння залежить від токсичності речовини в повітрі, кількості, часу вдихання, шляху проникнення.

ГДК деяких відомих шкідливих речовин в повітрі робочої зони: гас – 300 мг/м³ фактична концентрація, клас небезпеки – 4 (ГДК більше 10,0 мг/м³ - малонебезпечні речовини), агрегатний стан - пара.

8.1.2. Виробничий шум

До джерел шуму на підприємстві, де встановлено обертову піч, належать такі механізми:

- редуктори;
- електродвигуни приводу;
- зубчасті передачі;
- опорні ролики;
- шум у підшипниках;
- вентилятори.

При експлуатації устаткування в робочий час рівень шуму складає 75 дБ, а нормативне значення, відповідно ДСН 3.3.6.037-99 складає 80 дБ. Шум шкідливо відображається на здоров'ї й працездатності працівників, тому було прийнято наступні міри боротьби з ним:

- застосування амортизаторів.
- застосування систематичне змащення всіх рухомих частин печі;
- застосування регулярного балансування обертових частин печі.

При експлуатації обладнання в робочий час рівень звуку складає 75дБ, а нормативне значення, згідно ДСН 3.3.6.037-99 складає 80дБ.

В якості амортизаційного елементу використано торсіон, що має енергоємність в 1,2...1,5 разів більшу ніж у пружини.

Шум зменшиться на 5дБ.

8.1.3. Вібрація

До джерел вібрації в даному випадку належать електродвигуни й обертові частини печі. Посилення вібрації відбувається за рахунок неточності встановлення обертових частин; через нещільність з'єднання корпусів обертових частин до

залізобетонного фундаменту. У даному випадку спостерігається загальна вібрація, яка передається через опори на оператора. Робітники мало піддаються вібраціям, тому що знаходяться далеко від опор печі. Його місцезнаходження - кабіна пульта керування, тому загальна вібрація не може впливати конкретно на нього.

Рівень загальної вібрації печі не перевищує 10÷12дБ, у відповідності до ДСН 3.3.6.039-99.

Для зниження вібрації було прийнято наступні міри:

- застосування масляних ванн;
- застосування додаткових ребер жорсткості;
- так як спостерігається, в основному, вібрація низьких і середніх частот,

то покриття корпусів редукторів мають бути тверді, металеві на основі алюмінію й міді;

- застосування вібропогашення, що здійснюється за рахунок установки агрегатів на фундаменті;
- застосування модернізації, що обрано відповідно до цього проекту.

Покриття особливо відповідальних частин дорівнює 0,005 мм, не особливо відповідальних 0,1 мм.

Сумарний час роботи в контакті з вібрацією не має перевищувати 2/3 робочої зміни.

Тривалість одноразового безупинного впливу вібрацій не має перевищувати 15-20 хв, а в такому режимі перерва має бути не меншою за 40 хв.

8.1.4. Небезпека впливу частин печі що рухаються та обертаються

Частинами, які обертаються являються: корпус печі, упорні ролики, вінцева й підвінцева шестерні, муфти, роликкоопори. Ці механізми є небезпечними, тому що можуть нанести механічні травми що призведуть до інвалідності, важкого стану чи смерті. З метою запобігання отримання травм встановлено огороження.

Робітників має бути проінструктовано та забезпечено індивідуальними засобами захисту:

- комбінезонами групи М – яке захищає від незначних механічних пошкоджень;

- спеціальне взуття, що відповідає спецодягу;
- засоби захисту рук – бавовняні рукавиці;
- респіратори ШБ-1.

Для огороження використано огороження парпетне першої групи, зварене з арматури у вигляді ґрат.

Обертові механізми двигунів та муфт встановлено у нерухомих кожухах. Зубчатий вінець закрито спеціальним кожухом.

Для аварійної зупинки печі передбачено влаштування аварійних пристроїв, гідроупорів, вимикачів, а пульт керування облаштовано аварійними кнопками.

8.2. Електробезпека

Згідно з ПУЕ приміщення проектного цеху відповідає особливо небезпечному, тому що піч, розташована на відкритому повітрі та піддана атмосферним опадам. Крім того, через технологічний процес, який відбувається, виділяються пари, газ та пил, що руйнують струмоведучі частини і електроустаткування.

Напруга в електроустановках не перевищує 1000В. Ця напруга є небезпечною для життя людини

Застосовано дану мережу, тому що неможливо забезпечити потрібну ізоляцію проводів через вологість та інші фактори.

Основні причини ураження електричним струмом є такі:

- поява напруги на не підключених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, внаслідок помилкового вмикання установки;
- виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання проводу на землю;
- поява напруги на металевих конструктивних частинах електрообладнання - корпусах, кожухах і т.д., в результаті ушкодження ізоляції та інших можливих причин;
- випадковий дотик чи наближення до струмоведучих частин на небезпечну відстань, що знаходяться під напругою.

Для захисту від враження електричним струмом передбачено наступні заходи:

- живлення ручного інструмента і переносних ламп напругою, що не перевищує 42В;
- електричний розділ мережі на окремі електричні, не пов'язані між собою ділянки за допомогою спеціальних стаціонарних трансформаторів;
- усунення небезпеки ураження струмом з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається застосуванням невисокої напруги, вирівнюванням потенціалу, захисним зануленням;
- захисні засоби для роботи зі струмом до 1000В - діелектричні рукавички, інструмент з ізольованими ручками, індикатори напруги і струму;
- струмоведучі частини електроустановки забезпечити подвійною ізоляцією;
- забезпечення неможливості доступу до частин, що знаходяться під напругою, для уникнення випадкового дотику передбачено ізоляцію струмоведучих частин.

Захисне занулення

Задача занулення складається в усуненні небезпеки ураження людей струмом при замиканні на корпус.

Застосовується занулення у випадку використання трифазної чотирьохпровідної мережі напругою до 1000В з глухо-заземленою нейтраллю.

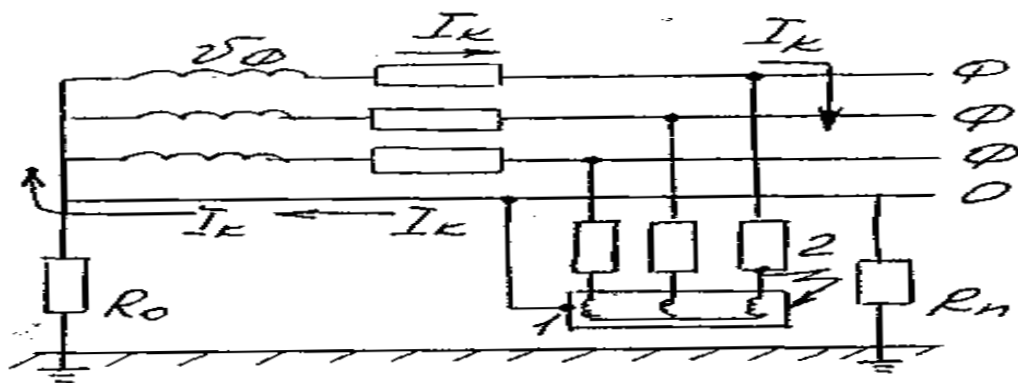


Рис. 8.1. Схема захисного занулення: 1- корпус; 2 - апарати для захисту від струмів КЗ; 3- R_0 - опір заземлення нейтралі джерела струму; 4 - R_n - опір повторного заземлення нульового провідника.

Принцип дії занулення - перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання, тобто замикання між фазним і нульовим провідником з метою створення струму, який здатний забезпечити спрацювання захисту, тим самим автоматично відключити пошкоджену установку від живлення. Таким захистом є плавкі чи автоматичні запобіжники вимикачі, які варто встановлювати перед споживачами енергії для захисту від струму короткого замикання. При короткому замиканні струм дорівнює:

$$I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{(R_0 + R_{з.м.})} = \frac{220}{(0,4 + 0,2)} = 365,6 \text{ А}, \quad (6.1)$$

де U_{ϕ} - фазна напруга, В;

R_0 - опір нульового проводу, Ом;

$R_{з.м.}$ - опір замикання фази на землю, Ом.

Напруга при короткому замиканні:

$$U_{к.з.} = I_{к.з.} \cdot R_0 = \frac{U_{\phi} \cdot R_0}{R_0 + R_{з.м.}} = 365,6 \cdot 0,4 = 146,6 \text{ В} \quad (6.2)$$

Кратність струму:

$$K = \frac{I_{к.з.}}{I_{пл.вст.}} = \frac{365,6}{100} = 3,6 \quad (6.3)$$

де $I_{к.з.}$ - струм короткого замикання, А;

$I_{пл.вст.}$ - мінім. струм плавкої вставки, А.

Крім того, через те, що занулені частини виявляються заземленими через нульовий провідник, то в аварійний період, тобто з моменту виникнення замикання фази на землю і до автоматичного відключення ушкодженої установки від мережі, з'являється захисна властивість цього заземлення.

8.3. Пожежна безпека

Для того, щоб розпочалось горіння необхідна наявність речовини, яка буде горіти. Полум'я в нашому випадку може стати і вибуховим, бо в якості палива використовується газ. Крім того, горіння може виникнути внаслідок порушення працівниками правил експлуатації електроустаткування.

Відповідно ОНТП 24-86 виробництво належить до категорії "В" пожежної небезпеки. За ступенем вогнестійкості виробництво відноситься до 1 ступеня. Для споруд цього ступеня вогнестійкості необхідно, щоб межа вогнестійкості несучих стін, стін сходових клітин та колон була не меншою ніж 2,5ч, сходових площадок та косорівні менш 1ч, зовнішніх стін з навісних панелей, перегородок та покриттів не менш 0,5ч. Протипожежні двері, вікна і ворота в протипожежних стінах мають мати межу вогнестійкості не меншою ніж 1,2 ч.

Число евакуаційних виходів з будинків та приміщень не менше двох. Ширина ділянок шляхів евакуації не менша ніж 1м, а дверей на шляхах евакуації - 0,8 м. Ширина зовнішніх дверей сходових клітин має дорівнювати ширині маршу сходів.

Для гасіння пожеж передбачено ручні вуглекислотні вогнегасники ОУ-2 (4 шт.).

У приміщенні передбачено пожежна сигналізацію - теплові пожежні сповіщувачі та димові (оптичні) датчики. Інформація з сповіщувачів надходить на загально-цехову станцію. Також передбачено протипожежні щити і шухляди з піском.

Відповідно до СН 305-74 приміщення обладнано блискавковідводами, що захищають від прямих ударів блискавки.

Відповідно до ПУЕ на цементному заводі споживачі електроенергії виробничого цеху відносяться до 1 категорії надійності електропостачання.

Пожежа при роботі печі може виникнути ще й по наступним причинах:

- ремонт устаткування на ходу, що є найчастішим видом ремонтних робіт печі;
- несправне устаткування (коротке замикання, перевантаження, великі перехідні опори) поблизу горючих матеріалів;
- знос і корозія устаткування, що може призвести до іскріння металевих конструкцій.

8.4. Розрахунок штучного освітлення

Пульт керування обертової печі знаходиться в приміщенні зі змішаним освітленням: природним – бічним та штучним - за допомогою світлодіодних ламп.

Відповідно до СНиП II-4-79 норма освітленості $E = 100\text{лк}$. Тому що найменшим об'єктом розрізнення є ризик на шкалі вимірювального приладу, (її ширина 0,5, висота 3 мм), тобто характеристика зорової роботи – IV-та, фактична освітленість 100 лк. Для забезпечення нормальної роботи оператора необхідно розрахувати штучне освітлення.

Знаючи світловий потік, підбираємо люмінесцентні лампи низького тиску типу ЛХБ 40, в яких світловий потік дорівнює 3000 лм.

У цьому випадку фактична освітленість буде дорівнювати:

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot \Phi_{\lambda} \cdot \eta}{S \cdot K \cdot Z} = \frac{24 \cdot 3000 \cdot 0,57}{225 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 110,54 \text{ лм} \quad (6.4)$$

це значення відповідає вимогам Снп II-4-79.

8.5. Охорона навколишнього середовища

До джерел, які забруднюють навколишнє середовище належить клінкерний пил, що міститься в газах, що відходять.

Для зменшення концентрації пилу в газах, що відходять, і зменшення шкідливих впливів пилу на навколишнє середовище перед викидом в атмосферу гази, що відходять, проходять через пило-осідаючу камеру, після чого очищені гази викидаються в атмосферу.

9. МОДЕРНІЗАЦІЯ ВУЗЛА ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ

9.1. Розробка 3D моделі базової та модернізованої частини установки

Для проведення розрахунків та визначення «критичних» параметрів існуючої (базової) та модернізованої моделі було розроблено тривимірну модель опорного вузла обертової печі відповідно до креслень.

9.1.1. Базова частина установки

Базова частина включає в себе існуючу (стандартну) конструкцію опорного вузла обертової печі, яка в основному застосовується на виробництвах.

Для подальшого розрахунку відповідно до існуючого навантаження на опорний вузол машини було прийнято рішення включити частину барабану разом з футеровкою.

Результуючу модель показано на рис. 9.1. Модель побудовано в програмному комплексі ANSYS.

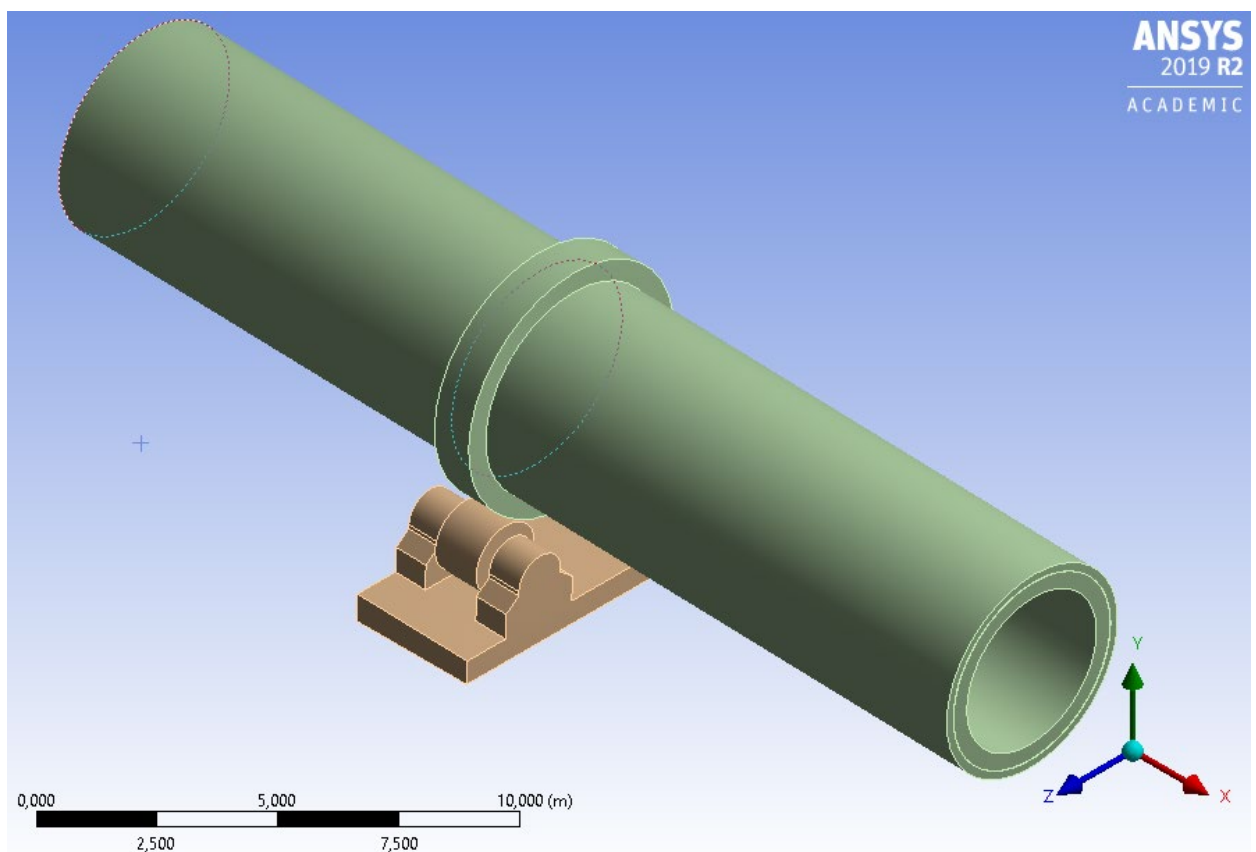


Рис. 9.1. 3D-модель базової частини установки

9.1.2. Модернізована частина установки

Модернізований вузол – просторове втілення обраної модернізації вузла опорного ролика печі. Основна ідея полягає у зменшенні контактних напружень через самовстановлення.

Для порівняння у вузол включено ідентичну до базової конструкцію частини барабана обертової печі.

Результуючу модель показано на рис. 9.2. Модель побудовано в програмному комплексі ANSYS.

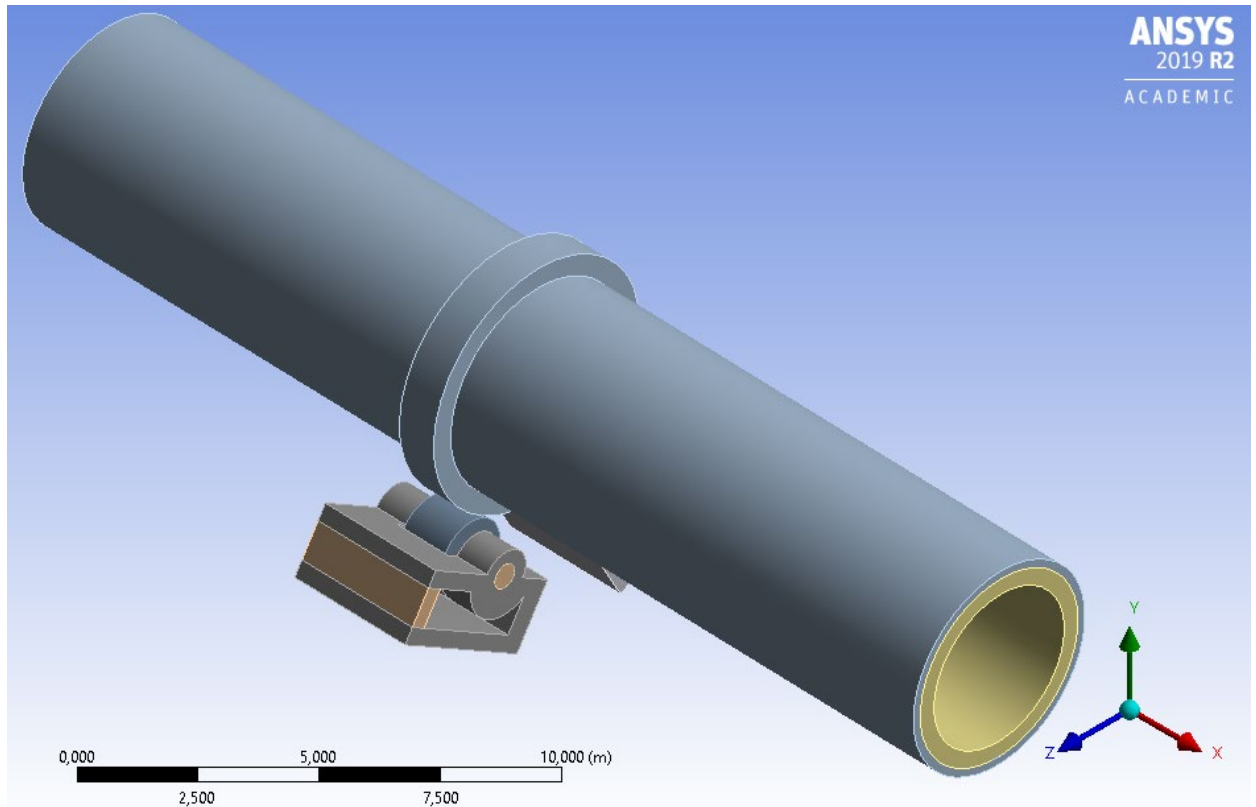


Рис. 9.2. 3D-модель модернізованої частини установки

9.2. Розрахунки базової моделі модернізованого вузла

Для можливості підтвердження працездатності модернізації нам необхідно насамперед дослідити та розрахувати навантаження, які виникають при використанні базового вузла машини. Для проведення розрахунку використовується програмний комплекс ANSYS.

Основні параметри розрахунку, які нам потрібні – загальні напруження. Навантаження прийнято під власною вагою. Вага матеріалу відносно ваги барабану печі з футеровкою низька і нею можна знехтувати.

Результати проведення розрахунків наведено на рис. 9.3 та 9.4.

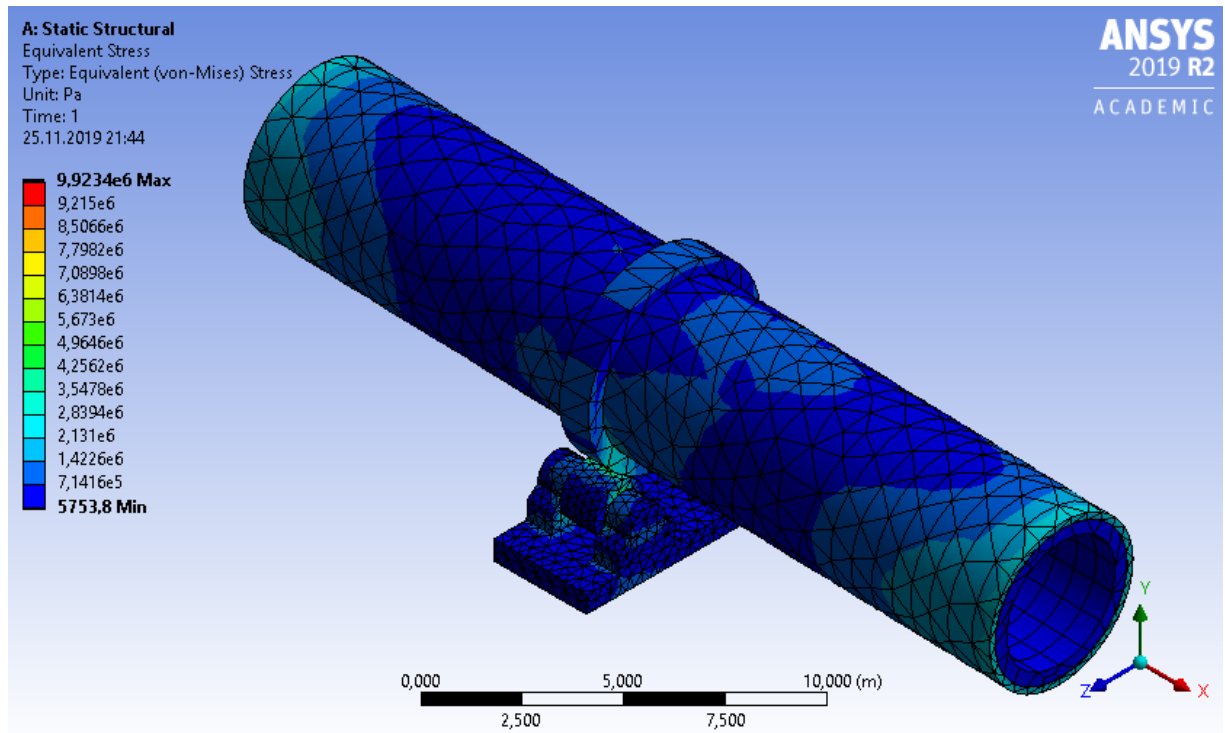


Рис. 9.3. Результат розрахунку базової моделі у програмному комплексі ANSYS за загальними напруженнями

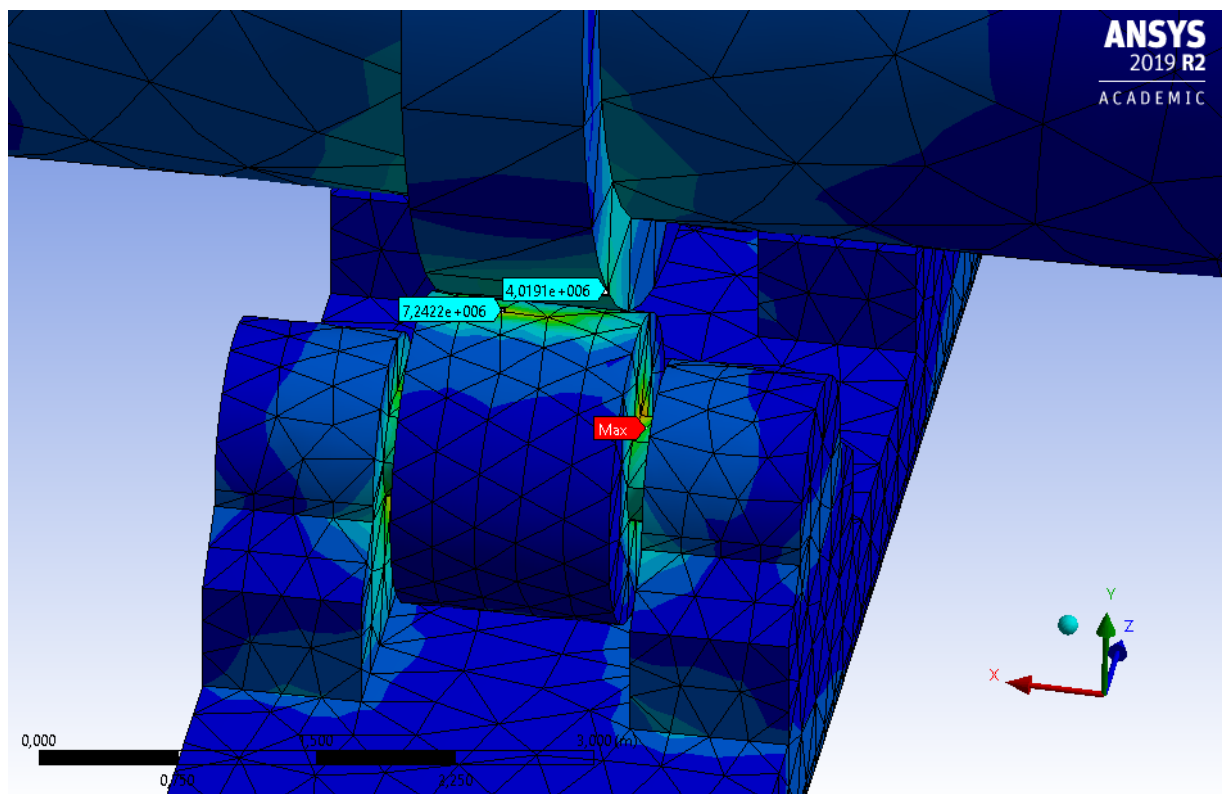


Рис. 9.4. Граничні напруження відповідно до розрахунку базової моделі у програмному комплексі ANSYS за загальними напруженнями

Відповідно до проведеного розрахунку контактні напруження:

- на ролику 7,2 МПа;
- на бандажі 4,0 МПа.

Максимальне напруження виникає у місці кріплення ролика до осі – 9,9 МПа.

9.3. Розрахунки для модернізованого вузла моделі

Розрахунок модернізованого вузла було проведено з ідентичними навантаженнями та закріпленнями для більш точного порівняння та аналізу обраної модернізації.

Результати проведення розрахунків наведено на рис. 9.5 та 9.6.

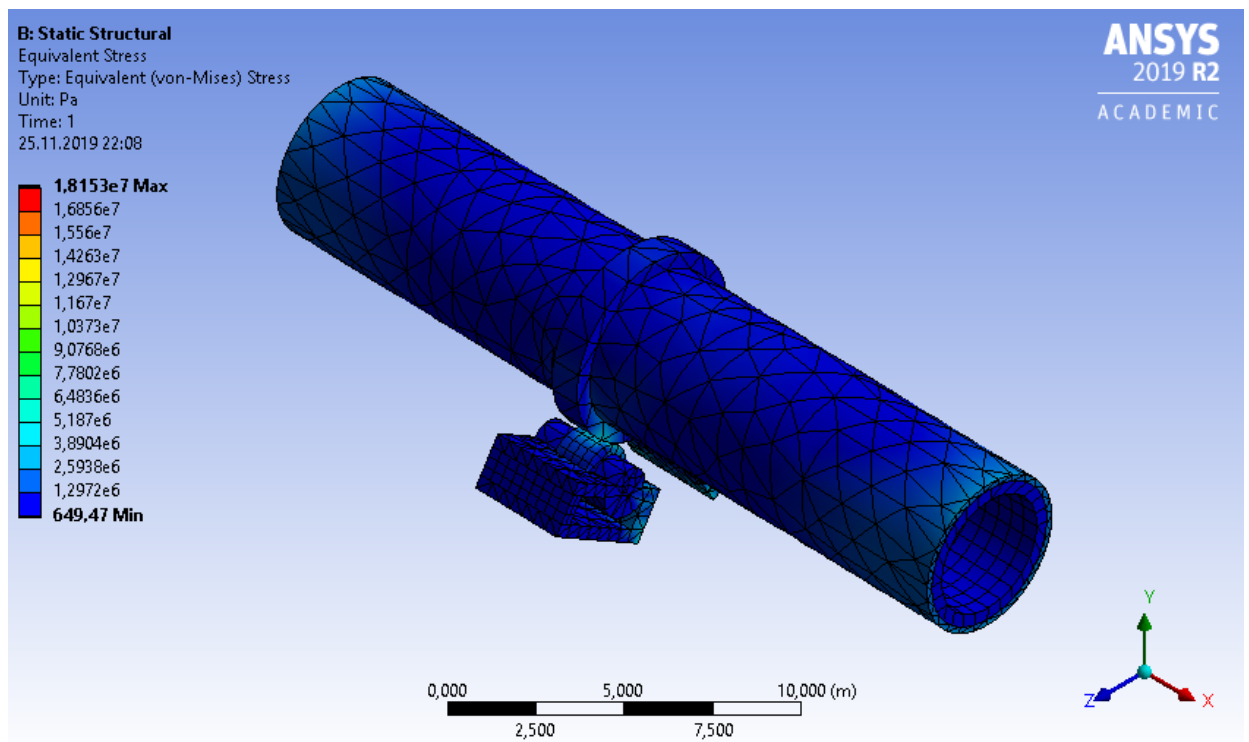


Рис. 9.5. Результат розрахунку модернізованої моделі у програмному комплексі ANSYS за загальними напруженнями

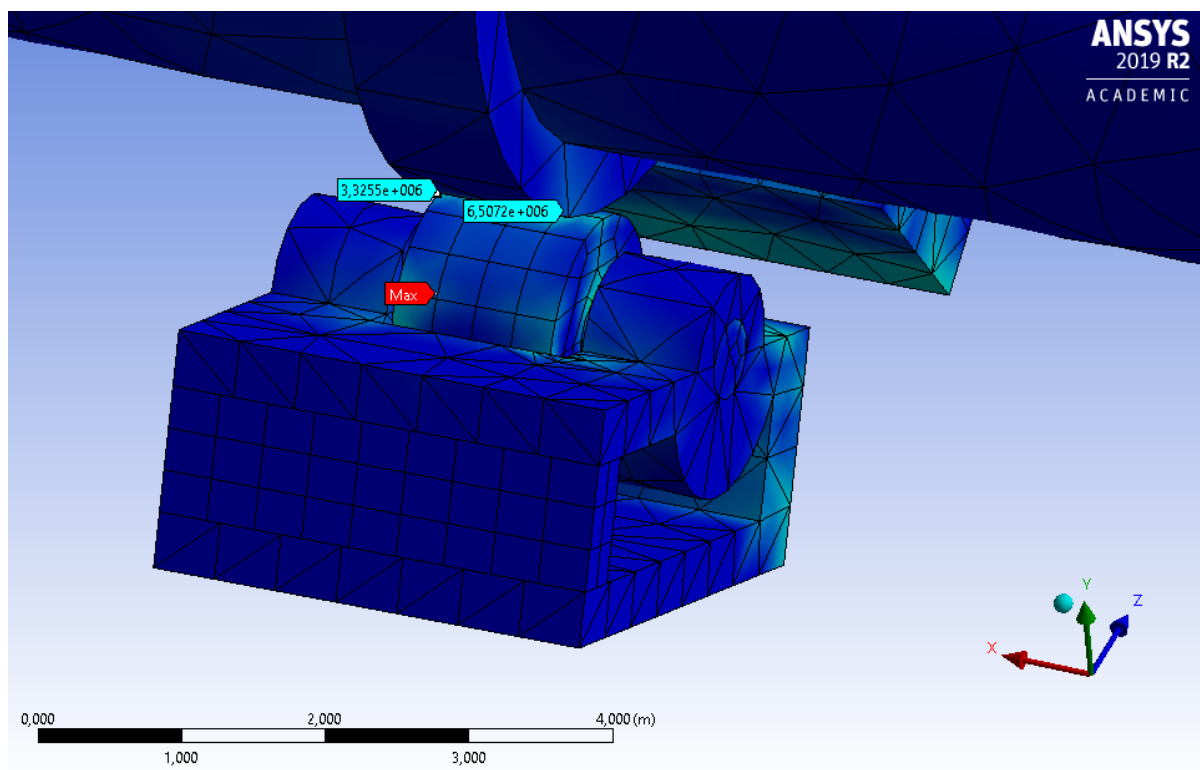


Рис. 9.6. Граничні напруження відповідно до розрахунку базової моделі у програмному комплексі ANSYS за загальними напруженнями

Відповідно до проведеного розрахунку контактні напруження:

- на ролику 6,5 МПа;
- на бандажі 3,3 МПа.

Максимальне напруження виникає у місці кріплення осі до рами – 18,2 МПа.

Таблиця 9.1. Зіставлення напружень для базової та модернізованої
конструкцій

	Базова конструкція, МПа	Модернізована конструкція, МПа	Зміни
Контактні напруження на ролику	7,2	6,5	Зменшується на 10%
Контактні напруження на бандажі	4,0	3,3	Зменшується на 17%
Максимальні напруження	9,9	18,2	Збільшуються на 84% через реакцію опори на нормальне навантаження

В таблиці 9.1 зведено результати розрахунків базової та модернізованої конструкції. Можемо зробити висновок, що загалом термін експлуатації вузла збільшиться через зменшення напружень при контакті ролика та бандажу, що відповідно зменшить їх деформацію.

Основною складовою модернізованого вузла є еластична опора, що дає можливість самовстановлення вузла при обертанні печі. При роботі печі барабан постійно деформується через ряд причин: термічна деформація, деформація під власною вагою, кручення, прогин тощо. Для рівномірного навантаження деформованого барабану з бандажем та зменшення амплітуди коливання навантаження на опорний механізм було застосовано обрану модернізацію.

9.4. Підтвердження працездатності модернізованої установки

Для підтвердження працездатності установки виходячи з розрахунків можемо провести розрахунок коефіцієнту запасу міцності використовуючи максимальне навантаження:

виходячи з формули

$$[\sigma] = \frac{0,6 \sigma_B}{k} \quad (1.1)$$

визначаємо коефіцієнт запасу міцності для існуючої конструкції:

$$k = \frac{0,6 \cdot 41 \cdot 10^7 \text{Па}}{1,82 \cdot 10^7 \text{Па}} = 13,516 \quad (1.2)$$

Коефіцієнт запасу міцності для сталей $k=1,5 \dots 6,0$, отриманий коефіцієнт перевищує максимальне значення.

Використане значення границі міцності відноситься до сталі 20 марки.

Після проведення розрахунку було визначено, що модернізація є повністю можливою та доцільною. Крім того, для даної модернізації існує можливість подальшого розвитку та вдосконалення за рахунок полегшення конструкції та зменшення витрати матеріалів на виготовлення конструкції.

9.5. Аналіз достовірності отриманих результатів

Результати розрахунків було отримано за допомогою програмного комплексу ANSYS 2019 R2 ACADEMIC – безкоштовної версії програми для студентів. Обмежені можливості програми не дають змоги провести розрахунки з максимальною точністю, але існуючої точності достатньо для проведення розрахунків для магістерської дисертації.

Для аналізу достовірності результатів було проведено розрахунок з меншою кількістю елементів та без футеровки, результати наведено на рис. 9.7 та рис 9.8.

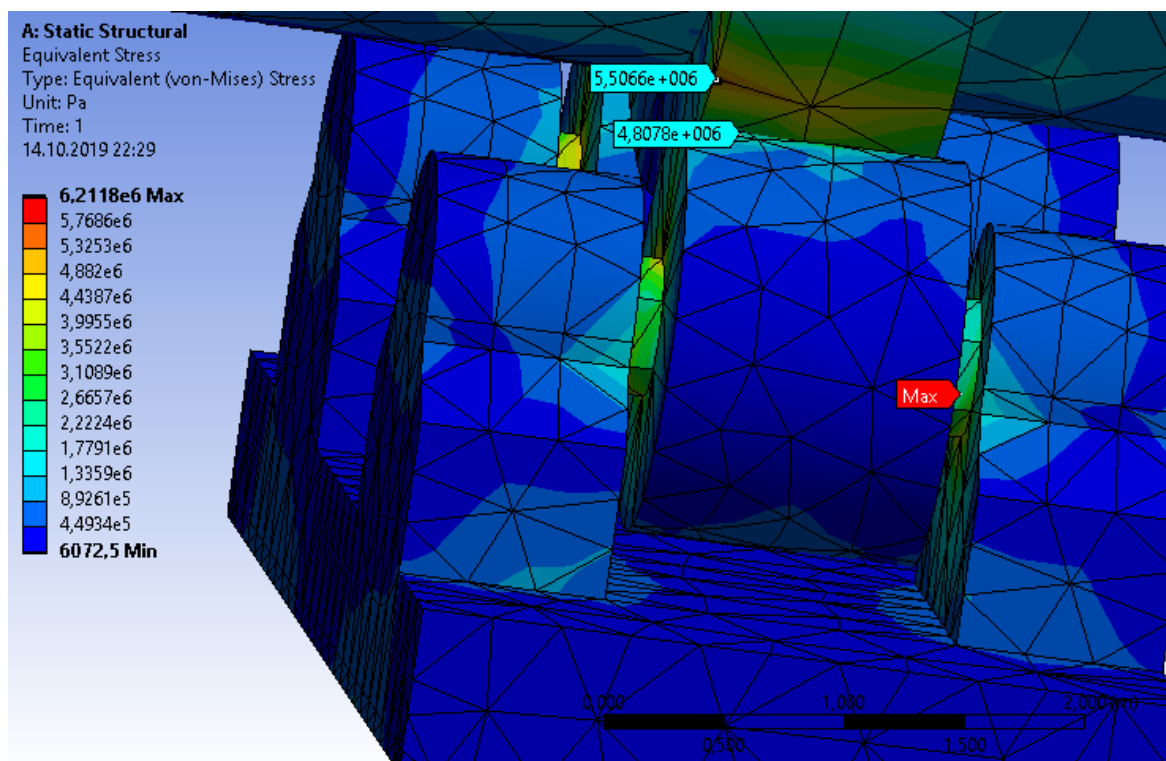


Рис. 9.7. Результат перевірки розрахунків базової конструкції

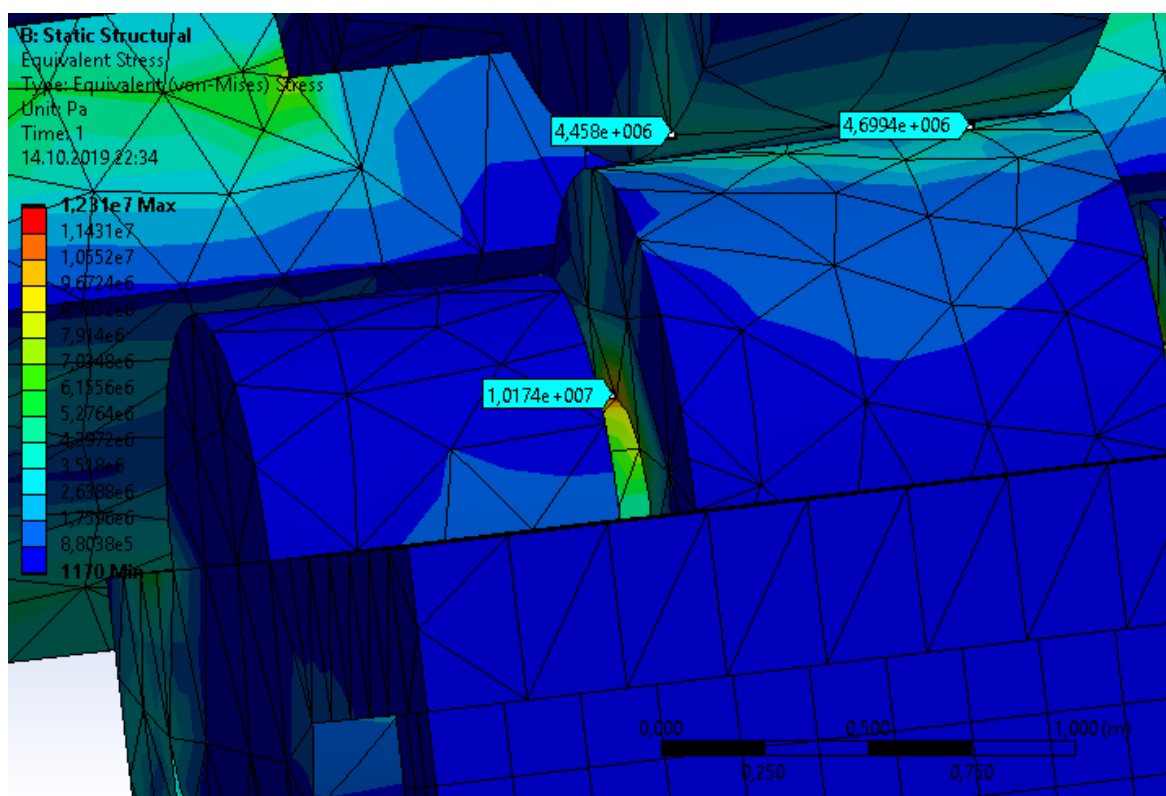


Рис. 9.8. Результат перевірки розрахунків модернізованої конструкції

Таблиця 9.2. Зіставлення напружень перевірки для базової та модернізованої конструкцій

	Базова конструкція, МПа	Модернізована конструкція, МПа	Зміни
Контактні напруження на ролику	4,8	4,7	Зменшується на 2%
Контактні напруження на бандажі	5,5	4,5	Зменшується на 18%
Максимальні напруження	6,2	12	Збільшуються на 94% через реакцію опори на нормальне навантаження

Згідно таблиці 9.2 видно, що зміна напружень відбувається в ту ж сторону, що і при основному розрахунку. Розбіжності точностей розрахунку обумовлені різними варіантами побудови сітки та кількості окремих елементів.

Отриманого результату при перевірці достатньо для підтвердження достовірності розрахунку.

ВИСНОВКИ

В ході магістерської дисертації було досліджено опору обертової печі та виявлено недоліки:

- ряд механічних та температурних деформацій корпусу печі призводить до нерівномірних навантажень на опорний вузол, що прискорює зношення елементів вузла;
- при запуску машини можливі додаткові навантаження через зупинку ролика у ввігнутій поверхні бандажу;
- нерівномірна геометрична складова сили, що діє на опорний вузол призводить до нерівномірного навантаження осі ролика;
- громіздкість підшипникового вузла опори;
- шум та вібрація.

Для усунення деяких з них було обрано і обґрунтовано модернізацію опори обертової печі. Модернізація полягає у заміні роlikоопор на самовстановлювані та закріплені під прямим кутом до дії навантаження. Проведено розрахунки на її працездатність та доцільність. Модернізація повністю працездатна та доцільна, крім того має додаткові шляхи вдосконалення.

Ціна існуючої конструкції (враховується лише матеріал) становить близько 12 млн. грн., ціна модернізованої конструкції орієнтовно 12 млн. грн. Однакова ціна обумовлена майже однаковою кількістю матеріалу. Тому під час заміни опірних елементів можлива заміна існуючого вузла, що вийшов з ладу на модернізований без істотних додаткових витрат.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Боганов А.И. Обертові печі цементної промисловості / М.: Машинобудування, 1965 р.
2. Федоров Г.Д., Іванов А.И., Савченко А.Г. Механічне устаткування підприємств в'язких матеріалів і виробів з них. Курсове проектування. / Харків.: "Вища школа", 1986 р. - 200 с.
3. Ходоров Е.И. Печи цементной промышленности / «Ленинград», 1968 р. - 455 с.
4. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г., Ефименко Е.А., Дослідження напружено-деформованого стану обертового теплового агрегату // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. - 2018. - № 1. - С. 65-71. DOI: <https://doi.org/10.20535/2306-1626.1.2018.143382>
5. Довідник по проектуванню цементних заводів / Під ред. С.И. Данюшевського - Л.: Видавництво літератури по будівництву, 1969 г. - 240 с.
6. Методичні вказівки до виконання курсового проекту “Технология машиностроения”, Киев КПИ, 1992.
7. Щербина В.Ю., Чемерис А.О., Конструкторське проектування обладнання. Курсовий проект [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2018. – 38 с. URL:<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25664>
8. Технология машиностроения / М.Е. Егоров та ін. - М.: “Высшая школа”, 1976, - 534с.
9. Приспособления для металлорежущих станков / Ансеров М.А. - Л.: Машиностроение, 1975, - 658 с.
10. Експлуатація, ремонт і монтаж обладнання хімічних виробництв / І.В. Коваленко - К. 2003.-149 с.
11. Механическое оборудование цементных заводов / Ф.Г. Баніт, О.А. Несвітський - М: “Машиностроение”, 1967 р - 306 с.

- 12.Щербина В.Ю., Дегодя Т. В., Новохатська Ю. М. Підвищення ресурсу роботи бандажів обертових печей // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. - 2016. - № 1. - С. 110-115. DOI: <https://doi.org/10.20535/2306-1626.1.2016.77978>
- 13.Механическое оборудование предприятий / М.І. Журавльов, А.А. Фоломєєв - М: "Высшая школа" 1983р - 230 с.
- 14.Методичні вказівки до економічної частини проекту / А.Э. Розенплентер, Т.В. Панішева - ДО: "НТУУ" КПІ.
- 15.Охрана труда в машиностроении / Е.Я. Юдіна - М: "Машиностроение", 1983 р - 431 с.
- 16.Основи охорони праці / В.Ц. Житецький, В.С. Джигирей, О.В. Мельников - Л: "Афіша" 2001р.-349 с.
- 17.Аналіз ринку цементу (в т. ч. цементних клінкерів), бетону (товарний бетон та ін.) України. 2018 рік – Режим доступу: <https://proconsulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-cementa-v-t-ch-cementnyh-klinkerov-betona-tovarnyj-beton-i-dr-ukrainy-2018-god>. – Дата доступу: 07.12.2019. – Назва з екрану
- 18.Відкрите акціонерне товариство 'Краматорський цементний завод - Пушка' / Емітенти / Finance.ua. – Режим доступу: <https://tables.finance.ua/ru/emitents/show/-/00292942/2006/4>. – Дата доступу: 07.12.2019. – Назва з екрану
- 19.Технологічні лінії для виробництва цементу – Режим доступу: <https://helpiks.org/6-18515.html>. – Дата доступу: 07.12.2019. – Назва з екрану